

**Vysoká škola báňská
Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování**

Vibrační diagnostika šroubových kompresorů

Vibration Diagnostics of Screw Compressors

Student:

Bc. Martin Surala

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D

2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Surala**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství**
Specializace: **72 Technická diagnostika, opravy a udržování**
Téma: **Vibrační diagnostika šroubových kompresorů**
Vibration Diagnostics of Screw Compressors

Zásady pro vypracování:

Obecně lze říci, že doprava a stlačování plynů sebou přináší spoustu úskalí týkajících se bezpečnosti provozu a bezpečnostních nároků kladených na daná zařízení a s tím spojenou problematiku diagnostiky technického stavu těchto zařízení. Proved'te analýzu dané problematiky a zvolte vhodné metody technické diagnostiky se zaměřením na vibrodiagnostiku. Vybrané metody vhodně aplikujte, proved'te závěrečné zhodnocení měření.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proved'te potřebná měření.
5. Proved'te konkrétní provozní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 159 s. ISBN 80-03-00308-3.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

MILÁČEK, S.: *Měření a vyhodnocování mechanických veličin*. ČVUT v Praze 2001, 231 s., ISBN 80.01-02417-2

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- ✓ jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- ✓ беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- ✓ souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- ✓ bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- ✓ bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- ✓ беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.
- ✓ jsem se zavázal společnosti Ingersoll Rand, s.r.o., že jimi poskytnuté informace budou použity pouze pro studijní účely a zpracování diplomové práce a nebudou sděleny jiným osobám jakoukoliv formou.

V Ostravě.....

.....
podpis studenta

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

SURALA, M. Vibrační diagnostika šroubových kompresorů. Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2014, 71s. Diplomová práce, vedoucí Blata, J.

Diplomová práce řeší problematiku vibrací šroubového kompresoru Sierra CD 26 EB6 300KW , který byl nově zaveden do výroby. Z vibrační diagnostiky můžeme určit stav jednotlivých částí kompresoru (ložiska, ozubená kola, šrouby kompresoru) a tím zajistit provozu schopný stav nového kompresoru. V první části diplomové práce se věnuji kompresorům a jejich jednotlivým konstrukčním řešením až po jejich účelné využití. V další části kapitoly, řeším šroubový kompresor firmy Ingersoll Rand jeho konstrukční provedení a princip činnosti jeho funkce a následné využití v provozu.

V poslední části se zabývám určením měřících míst na šroubovém kompresoru Ingersoll Rand, následně změřím data přístroji Leonova Infinity a A4400 Va4Pro uložím, vyhodnotím a následně porovnám naměřené hodnoty. Z naměřených hodnot pak vyvodím závěr, zda kompresor splňuje požadavky firmy nebo ne.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

SURALA, M. vibration monitoring of screw compressors. Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering VŠB-Technical University of Ostrava, 2014, 71s. Diploma thesis, leading Blata, J.

This thesis addresses the issue of vibration screw compressor Sierra CD 26 EB6 300kW, which was recently put into production. The vibration diagnostics can determine the status of the compressor parts (bearings, gears, screws compressor) and thus provide new operating condition of the compressor. In the first part of the thesis deals with compressors and their individual design solutions to their practical use. In the next section, we are dealing with screw air compressor Ingersoll Rand's construction and the operating principle of its function and subsequent use in service.

The last part deals with the determination of measuring points on the screw compressor Ingersoll Rand, then measure the data unit Leonova Infinity and A4400 VA4Pro store, evaluate and then compare the measured lot. From the measured values then draw conclusions whether the compressor meets the requirements of the company or not.

Obsah	Stránky
Seznámení symbolů a zkratek	6
1. Úvod	7
2. Představení společnosti Ingersoll Rand	8
2.1 Výrobní závody v české republice	8
3. Kompresor	10
3.1 Rozdělení kompresoru	10
4. Šroubové kompresory	12
4.1 Hlavní části šroubových kompresorů	14
4.2 PRACOVNÍ OBĚH ŠROUBOVÝCH KOMPRESORŮ	16
4.3 Celkové vyhodnocení kompresoru	19
4.4 Šroubové kompresory bezmazné	20
4.5 Šroubové kompresory mazné	21
4.6 průtokové schéma šroubových kompresorů	21
5. Šroubové kompresory Ingersoll rand	25
5.1 Princip činnosti šroubového kompresoru	26
5.2 Údržba šroubového kompresoru	29
5.3 Bezpečnostní zásady údržby	29
5.4 Tabulka servisních intervalů údržby	31
6. Vibrodiagnostika	32
6.2 Základní definice a terminologie	32
6.2 Historický vývoj	33
7. Umístění snímačů při měření vibrací kompresoru	35
7.1 Přesná místa umístění snímačů pro měřicí zařízení adash	36
7.2 Přesná místa umístění snímačů pro měřicí zařízení SPM	38
7.3 Měřicí zařízení na měření vibrací Adash	41
7.4 Měřicí zařízení na měření vibrací Leonova od firmy SPM	42
8 Průběh měření a zpracování signálu	43
8.1 Postup měření	43
8.2 Zpracovaná data ve firemním programu Ingersoll Rand	43

8.2.1 Hodnoty spekter na prvním stupni stlačování	43
8.2.2 Hodnoty spekter na druhém stupni stlačování	45
8.3 Zpracovaná data v programu A4410 Virtual Unit	47
8.3.1 Hodnoty spekter na první stupni stlačování	47
8.3.2 Hodnoty spekter na druhém stupni stlačování	57
9. Vyhodnocení a porovnání naměřených dat	68
9.1 Vyhodnocení dat	68
9.2 Porovnání naměřených hodnot	68
10. Závěr	70
Použitá literatura	71

Seznámení symbolů a zkratk

Zkratka-veličina	Význam	Použitá jednotka
σ_c	celkový tlakový poměr	[-]
V_d	dopravovaný objem	[m ³ ·h ⁻¹]
Δp	rozdíl tlaku	[pa]
p_d	dopravovaný tlak	[pa]
p_n	nasávaný tlak	[pa]
Šk	šroubový kompresor	[-]
PK	pístový kompresor	[-]

1 Úvod

Kompresory jsou základními stroji pro výrobu stlačených plynů. První kompresor vznikl v roce 1894, který byl ležatý pístový s Hoerbigerovými ventily. Později dochází k průmyslové výrobě turbokompresorů. Jako První šroubový kompresor bezmazný byl postaven v roce 1934 a to zásluhou inženýra Alfréda Lysholma a vývoj mazaných kompresorů začal až v roce 1959.

V dnešní době je stlačený vzduch používán k pohonu pneumatických motorů a různých mechanismů ale také i k přímému použití. V procesním inženýrství připravují kompresory plyny k chemickým reakcím a umožňují jejich dopravu na velké vzdálenosti. Významné je využití kompresorů v chladicí technice. Podle způsobu stlačování se kompresory dělí na objemové-kde zvýšení tlaku probíhá zmenšováním objemu pracovního prostoru, v němž je stlačovaný plyn uzavřen. Rychlostní-kde se dosahuje zvýšení tlaku zrychlením proudícího plynu a po něm následující přeměnou kinetické energie v tlak. Typickým příkladem je turbokompresor.

Diplomová práce byla vypracována ve spolupráci školy se společností Ingersoll Rand s. r. o, která je světovým výrobcem mechanických zařízení ke stlačování plynů. Hlavním cílem této firmy je zisk ale také udržení zákazníka, získávání nových a mít vždy náskok na trhu před konkurencí. K zajištění kvalitních a bezporuchových zařízení si společnost dodržuje zásadní podmínky provozu a mobilní servis s garancemi a zárukou na vlastní zařízení, které si zákazník zakoupil. Kvalita spolehlivost a přístupnost společnosti ke svým zákazníkům je vždy na prvním místě, aby docházelo k zviditelnění a zlepšení pověsti společnosti.

V této diplomové práci se především zaměřím na aplikaci vibrodiagnostiky na měření nového kompresoru CD26 EB6, který byl jako jeden s prvních kompresorů společnosti Ingersoll Rand vyroben a následně otestován na vibrace. Pomocí zařízení na měření vibrací, které používá společnost Ingersoll Rand, jsem porovnal měření se školním měřícím zařízením a vyhodnotil naměřené hodnoty a porovnal je s hodnotami společnosti.

2 Představení společnosti Ingersoll Rand:

Společnost Ingersoll Rand je globální diverzifikovaná průmyslová společnost řízena vlastními zaměstnanci, kteří jsou hrdí na to nabízet produkty a řešení.

Tato firma byla v roce 1871 založena Simon Ingersollem. Ze začátku se firma věnovala vrtným soupravám pro těžbu nerostných surovin a dále se firma dala směrem k průmyslovým sektorům: klimatického řešení, průmyslové technologie, řešení bydlení, bezpečnostní technologie. Sídlo společnosti se nachází ve Swords, Dublinu v Irsku. Tato firma má více jak 100 výrobních závodů a poboček po celém světě včetně České republiky a zaměstnává přes 55 000 lidí

2.1 Výrobní Závody v České republice

Praha-Hostivice technologické centrum vzniklo v roce 2007 a poskytuje služby pomocí zkušeben:

- zkušebny klimatizačních jednotek,
- kalorimetrické zkušebny pro měření výkonu chladicích jednotek,
- vibrační laboratoře s elektromagnetickými stolicemi,
- vibrační laboratoř s hydraulickým víceosým systémem umožňujícím zkoušet i několikatunové předměty
- klimatické komory včetně zkušebny certifikované na ATP přepravu
- zkušebny teplovodních výměníků,
- zkušebna filtrů a čističek vzduchu
- výkonové a životnostní zkoušky chladivových kompresorů,
- výkonové a životnostní zkoušky vzduchových kompresorů

Kolín výrobní závod vznikl v roce 1992 a vyrábí se zde jednotky přepravního chlazení a klimatizací pro autobusy a lehká kolejová vozidla pod obchodní značkou THERMO KING a jednotky rezidenčního chlazení pod obchodní značkou TRANE.

Přes 95% kolínské produkce směřuje na zahraniční trhy. Z tuzemských zákazníků je to především společnost IVECO (bývalá Karosa), ŠKODA Transportation Plzeň a ze zahraničních například společnosti MAN, Contrac nebo Siemens.

Uničov jedná se o nejmladší závod v České republice, byl postaven v červenci 2002 a do provozu spuštěn v srpnu 2002. Specializuje se na montáž a testování stacionárních šroubových kompresorů ve výkonovém spektru 1-350 kW a od října 2004 také na montáž 2 až 4 válcových pístových kompresorů pro chladicí okruhy. Od roku 2010 společnost také vyrábí dveřní a okenní příslušenství a sanitární zařízení z nerez a mosazi pod obchodní značkou RANDI.

Přes 98% produkce směřuje na zahraniční trhy. Závod je evropským distribučním centrem. V současné době je zde zaměstnáno více než 260 pracovníků různých technických profesí.



Obr. 2.1.1 výrobní závod Uničov

je stroj určený ke stlačování (kompresi) plynů a par.

Kompresory bývají různého provedení a uspořádání. Rozdělují se zejména podle:

-stlačovaného media	na kompresory vzduchové a plynové,
-počtu stupňů	na stroje jednostupňové a vícestupňové,
-celkového tlakového poměru σ_c na	
dmychadla	$\sigma_c < 3$
nízkotlaké kompresory	$\sigma_c = 3$ až 25
středotlaké kompresory	$\sigma_c = 25$ až 100
vysokotlaké kompresory	$\sigma_c = 100$ až 300
hyperkompresory	$\sigma_c > 300$
-dosahované výkonnosti V_d na	
kompresory malé, jestliže	$V_d < 150$ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
kompresory střední	$V_d = 150$ až 5 000 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
kompresory velké	$V_d > 5\,000$ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

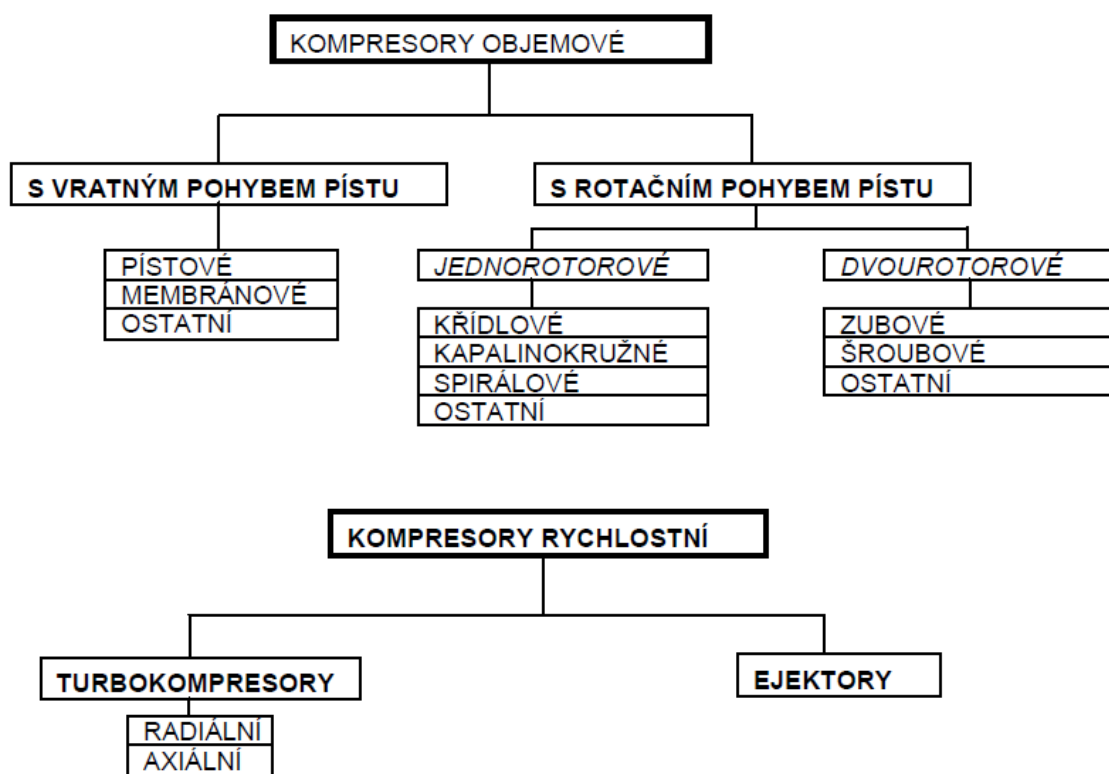
Kompresory lze dále členit na vzduchem nebo vodou chlazené, na stacionární, přenosné a pojízdné.

Kompresory určené k odsávání plynů z uzavřených prostorů jsou vývěvy. Jednotky s malým tlakovým poměrem a zvýšeným tlakem se nazývají dotlačovací. Jestliže pracují v uzavřeném technologickém okruhu, jsou označovány jako kompresory oběhové. Speciální provedení vyžadují chladicí kompresory stlačující chladiva.

-způsobu zvyšování tlaku

Objemové, kde zvýšení tlaku probíhá zmenšováním objemu pracovního prostoru, v němž je stlačovaný plyn uzavřen.

Rychlostní, kde se dosahuje zvýšení tlaku zrychlením proudícího plynu a po něm následující přeměnou kinetické energie v tlak. [3]

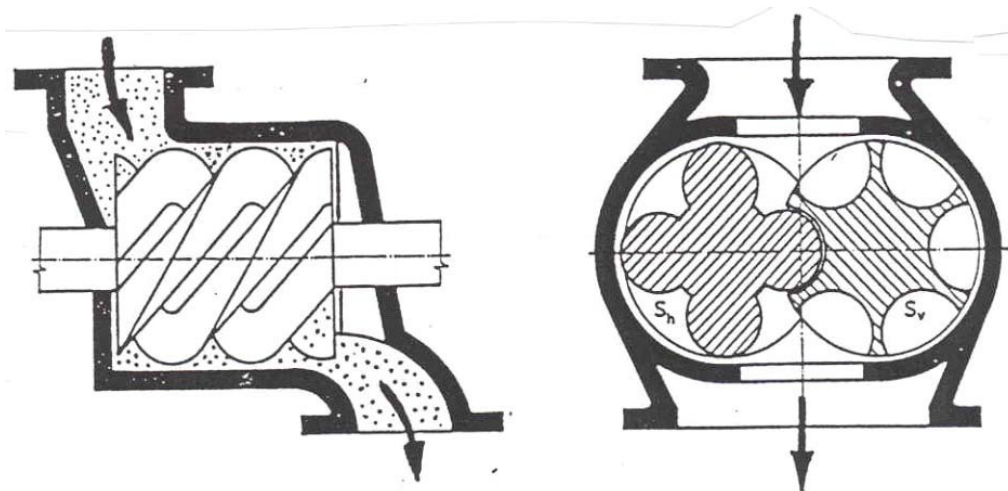


Tab. 1 Rozdělení kompresorů podle způsobu práce a provedení

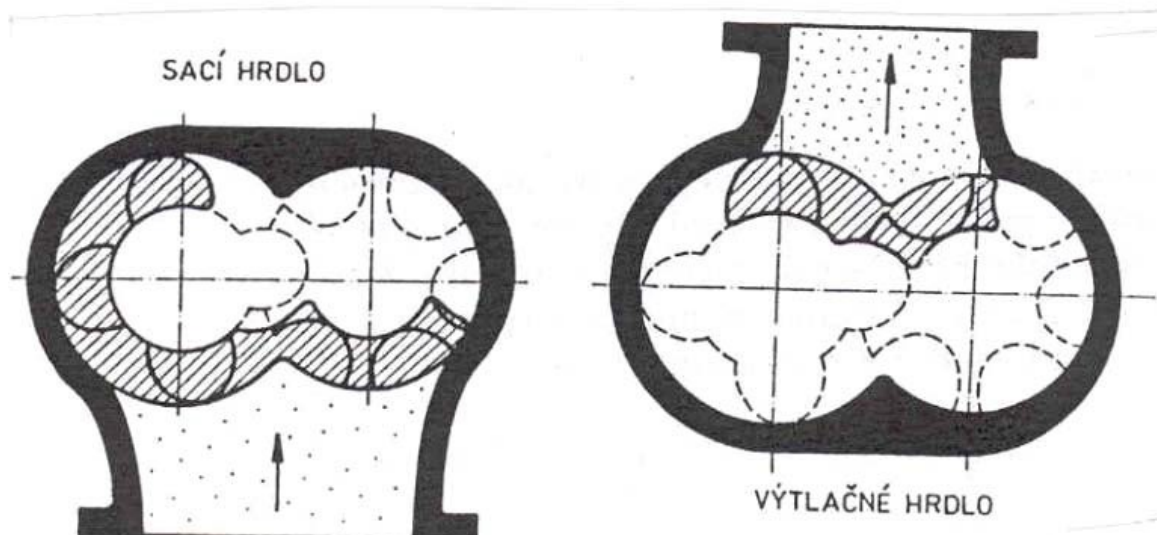
4. Šroubové Kompresory

Šroubové kompresory jsou moderní objemové kompresory, slučující v mnohém směru přednosti pístových, rotačních i dynamických kompresorů, takže v současnosti již zaujímají v oboru stlačování plynů dominantní postavení. Konstruktérům těchto strojů se podařilo vyřešit i řadu problémů souvisejících s technologií chemických procesů. Šroubové kompresory stlačují celou škálu plynů od vodíku až k etanu včetně jejich směsí, kde je nutný nástřik chladicí kapaliny do pracovního prostoru.

Svou konstrukcí (viz schéma na obr.4.1 a 4.2) navazují na dvourotorová Rootsova dmychadla, avšak čelní ozubení rotoru je nahrazeno šroubovými tělesy s velkým stoupáním a nestejným počtem zubů. Pohybující se části jsou dokonale vyvážené.



Obr. 4.1 Schéma šroubového kompresoru



Obr. 4.2 Sací a výtlačný otvor šroubového kompresoru

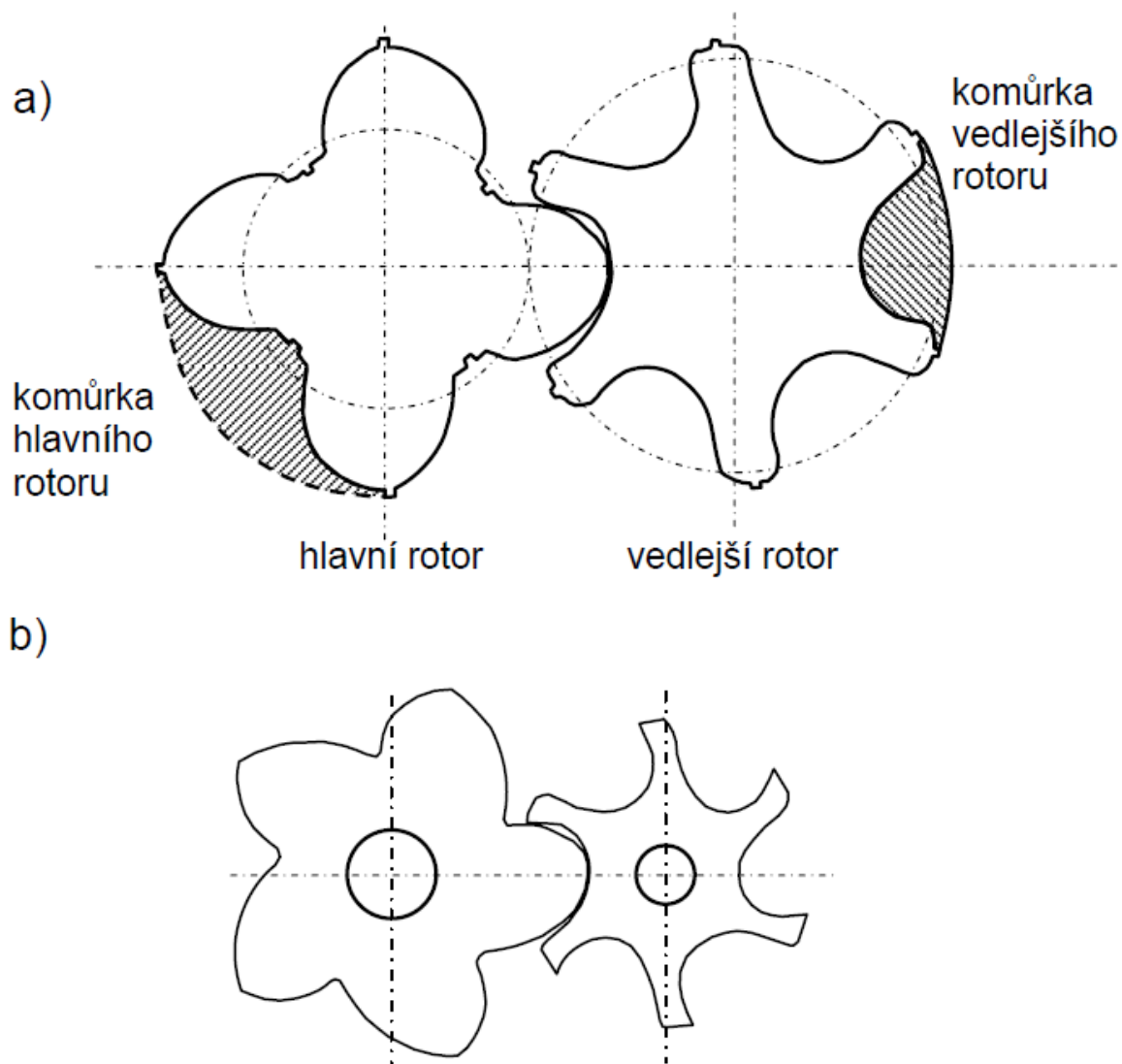
Vysoké otáčky a mimořádně malé rozměry vytvářejí předpoklady pro stavbu levných jednotek s minimálními požadavky na konečnou montáž i nenáročnou údržbu.

Šroubové kompresory jsou vhodné pro kompresi vlhkých i znečištěných plynů.

Teplota v sání může dosahovat i 100 °C. Odpovídající teplota ve výtlačném hrdle neohrožuje bezporuchový provoz stroje. Nevýhodou šroubových kompresorů je neměnný vestavěný tlakový poměr π a značný hluk o vysoké frekvenci.

Šroubové kompresory bývají rozděleny podle:

- vyhotovení na bezmazné a mazané,
- počtu stupňů na jednostupňové až třístupňové,
- zubových profilů rotorů na stroje s ozubením cykloidním, cévovým, nesymetrickým (obr.4.3a) a nyní již hojně využívaným profilem sigma (obr.4.3b).[3]



Obr.4.3 Zubový profil nesymetrický a profil sigma

4.1 Hlavní Části Šroubových Kompresorů

Skříň šroubových kompresorů (obr. 4.1.1) má dva válcové otvory, v nichž se otáčejí rotory. Součástí skříně je sací hrdlo se sacím prostorem a sacím otvorem, který svým tvarem omezuje dobu sání.

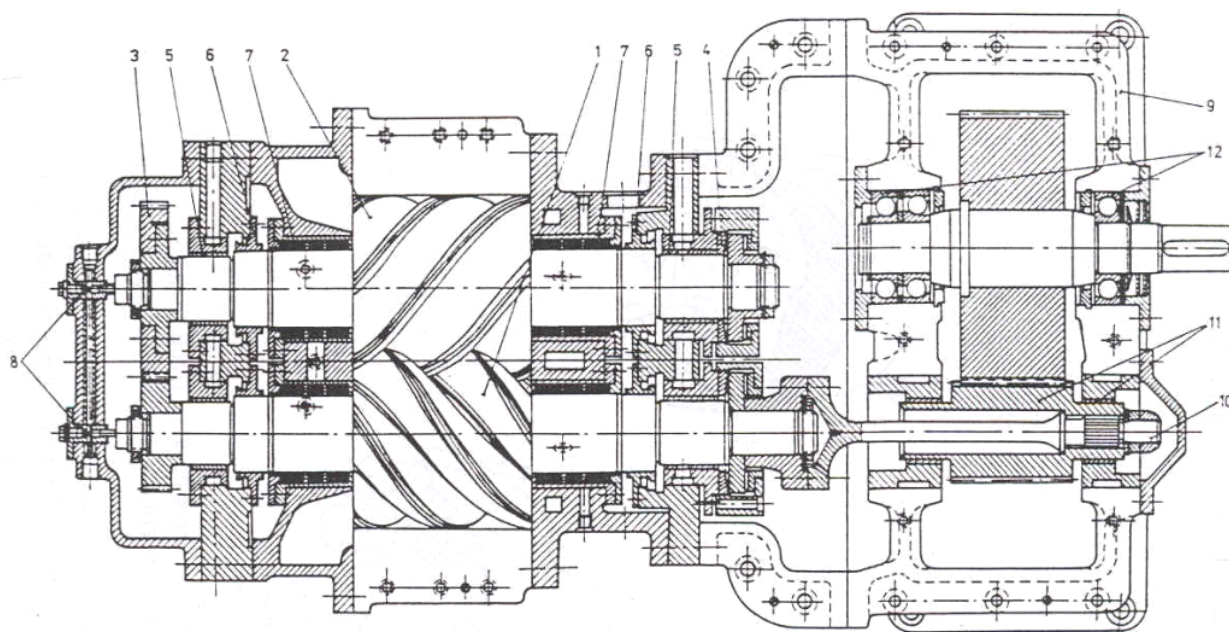
Podobně jsou ve výtlačném hrdle uspořádány výtlačné otvory (obr. 4.2). Původní uspořádání využívalo z hlediska snadné montáže a návaznosti potřebných konstrukčních prvků souhlasné orientace sacího a výtlačného hrdla směrem nad pracovní prostor stroje. Tím byly vytvořeny předpoklady k hydraulickým rázům po vadné provozní manipulaci při spouštění a odstavování stroje. Nyní mají procesní a mazané kompresory vstupní hrdlo nad pracovním prostorem a výtlačné hrdlo pod rotory.

Bezmazné kompresory vzduchové jsou stavěny s obráceným smyslem proudění. Ve skříní jsou dále uložena ložiska a ucpávky hřídelů, synchronizační a převodová soukolí. Pracovní prostor je vytvořen komůrkami mezi zuby obou rotorů a válcovou plochou skříně.

Hlavní rotor má zuby s vypouklým, v poslední době zpravidla nesymetrickým profilem, který je zkonstruován tak, aby při rotaci vytvářel nepřetržitou těsnicí linii s minimální podélnou (mezi komůrkami) i příčnou netěsností (mezi sáním a výtlakem). Vedlejší rotor má profil vydutý. Optimální poměr délky a průměru rotoru L/D je podle (L 6) 1,65. Stroje s delšími rotory mají větší výkonnost, dobré využití pracovního prostoru, ale malou tuhost.

Kratší rotory připouštějí vyšší zatížení rozdílem tlaků $\Delta p = p_d - p_n$. Obvodová rychlost rotorů závislá na tlakovém poměru, výšce zubů a hustotě stlačovaného plynu, bývá 80 až 120 m.s-1. Závity na rotorech nejsou úplné. U hlavního rotoru dosahuje úhel natočení zubů 210° u vedlejšího 140°.

Šroubové kompresory jsou doplněny systémy zajišťujícími:- regulaci výkonnosti, mazání, chlazení, filtraci nasávaného plynu, tlumení hluku, měření a střežení stroje.[3]



Obr. 4.1.1 Řez jednostupňovým bezmazným šroubovým kompresorem

1,2-rotory, 3-synchronizační ozubení, 4-axiální ložisko, 5-radiální kluzná ložiska, 7-ucpávky hřídelů, 8-mazání hřídelů, 9-převodovka, 10-torzní hřídel, 11-uložení pastorku převodové skříně, 12-kuličková ložiska převodové skříně

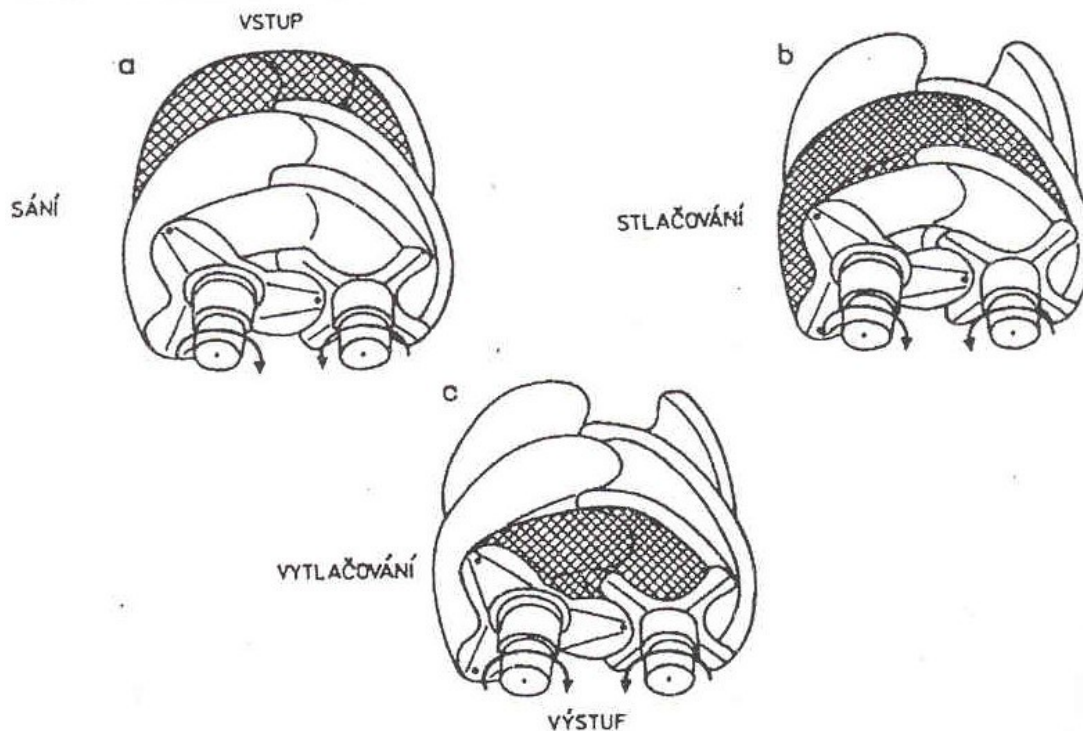
4.2 PRACOVNÍ OBĚH ŠROUBOVÝCH KOMPRESORŮ

Pracovní postup šroubových kompresorů probíhá ve třech fázích :

sání (obr.74a - do komůrky mezi rozbíhající se zuby obou rotorů na sací straně je nasáván plyn),

stlačování (obr.4.2.1b - po přerušení spojení mezi sacím hrdlem a komůrkami, když zuby přejdou přes hranu sacího otvoru, vniká u čelní sací strany do pracovního prostoru následný zub spřaženého rotoru),

vytlačování (obr.4.2.1c - po spojení pracovní komůrky s výtlačným hrdlem je přes výtlačný otvor vytlačován téměř všechn plyn z pracovního prostoru).



Obr. 4.2.1 Pracovní děj šroubových kompresorů
a-sání, b-stlačování, c- vytlačování

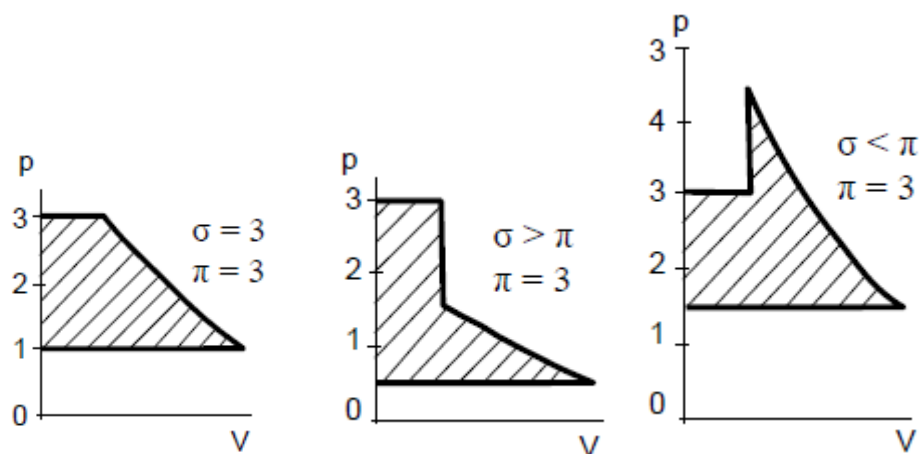
Poměrná velikost škodlivého prostoru je menší než 1%, expanze plynu ze škodlivého prostoru je zanedbatelná.

Termodynamické změny v pracovním prostoru jednostupňových ŠK jsou totožné s dějem popsáným na obr. 60 a 61 u kompresorů křídlových. Komprese je ukončena v okamžiku když špice zubů obou rotorů (obr.71) dosáhnou hranu výstupního otvoru. Jeli dosaženo shody mezi tlakem p_2 na konci komprese a tlakem plynu p_d ve spotřebiči dochází plynule k vytlačování 2-3, bez tlakových pulzací od kmitajících ventilových desek. Vzhledem k tomu, že ŠK pracují bez škodlivého prostoru a zpětné expanze, není pracovní oběh uzavřen tak, jak je tomu u PK. Sání (změna 4-1) a tím také výkonnost stroje je na zpětné expanzi nezávislá. K ovlivnění dochází jen vnitřními netěsnostmi, poněvadž netěsnosti vnější u kvalitních ucpávek rotorů jsou minimální. Proto tlaková charakteristika jednostupňového kompresoru je jen mírně skloněná.[3]

Vestavěný tlakový poměr π lze odvodit z kompresního poměru $\frac{V_2}{V_1}$ a středního

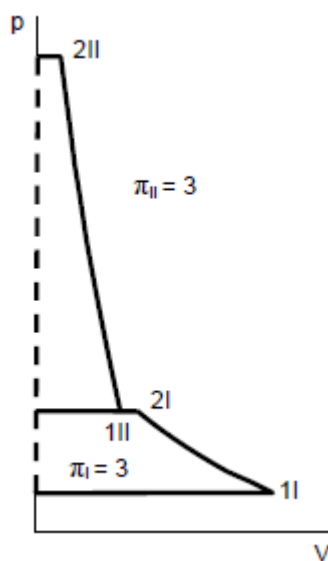
kompresního polytropického exponentu n .

Na všech dále uváděných diagramech je vestavěný tlakový poměr $\pi = 3$. Na obr. 4.2.2 jsou znázorněny změny související se změnou tlaku v sání u jednostupňového kompresoru



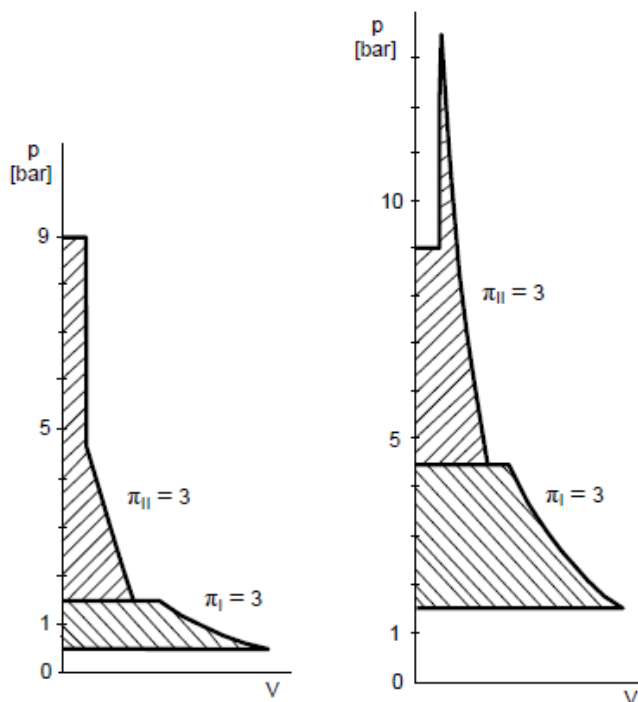
Obr. 4.2.2 Vliv změny tlaku p_1
na průběh komprese

U dvoustupňového kompresoru (obr.4.2.3) navazuje komprese druhého stupně v bodě **1** - **II** po ochlazení plynu za prvním stupněm. Poněvadž **I.** stupeň pracuje stále v navržených podmínkách a netěsnosti **II.** stupně výkonnost kompresoru neovlivní, je tlakovou charakteristikou dvoustupňového stroje svislá přímka.



Obr. 4.2.3 p - V diagram
dvoustupňového ŠK

U vícestupňových kompresorů (na obr. 4.2.4 jsou diagramy dvoustupňového kompresoru), sledujeme vnější kompresi i rázovou expanzi po změně tlaku p_1 jen na posledním stupni. To znamená, že nesoulad mezi vestavěnými tlakovými poměry π_{II} a celkovým tlakovým poměrem σ_c u vícestupňových kompresorů nemá vliv na chování prvního stupně.[3]



Obr. 4.2.4 Rázové změny u dvoustupňového kompresoru

4.3 Celkové vyhodnocení kompresoru:

- pracovní oběh ŠK není uzavřen,
- po vytlačení plynu z pracovního prostoru nedochází k zpětné expanzi,
- výkonnost ŠK není ovlivňována měnícím se tlakem v sání
- na výkonnost ŠK nemá vliv tlak na konci komprese
- netěsnosti druhého a vyšších stupňů výkonnost neovlivní, poněvadž objemové ztráty jsou u ŠK minimální, liší se výkonnost od nasávaného průtoku $V \& n$ jen když dojde k úniku plynu z mezistupňového prostoru, jinak $V \& d = V \& n$
- charakteristika jednostupňového ŠK je strmější než u PK
- charakteristika vícestupňových ŠK je svislá
- u vícestupňových kompresorů se rozdíly mezi tlakem plynu na konci vnitřní komprese a protitlakem projeví jen na posledním stupni

- s rázovou kompresí roste tlaková difference plynu na stupni i jeho výstupní teplota.

4.4 ŠROUBOVÉ KOMPRESORY BEZMAZNÉ

Pracovní prostor není mazán, vzájemný pohyb rotorů je svázán synchronizačním soukolím. Tím je zajištěno požadované rozdělení vůlí mezi zuby, které bývají co nejmenší, pro dosažení dobrého utěsnění pracovního prostoru. Zpravidla jsou vůle menší než $(0,8 \text{ až } 1,2) \cdot 10^{-3} D$. Bezmazné kompresory se uplatňují i v extrémních podmínkách.

Jsou vhodné pro stlačování plynů:

- silně korozivních,
- vzácných, kdy je styk stlačovaného média s olejem nežádoucí (kyslíkové kompresory),
- s nízkou molekulární hmotností,
- znečištěných,
- obsahujících velké množství kapalin a sedimentů.

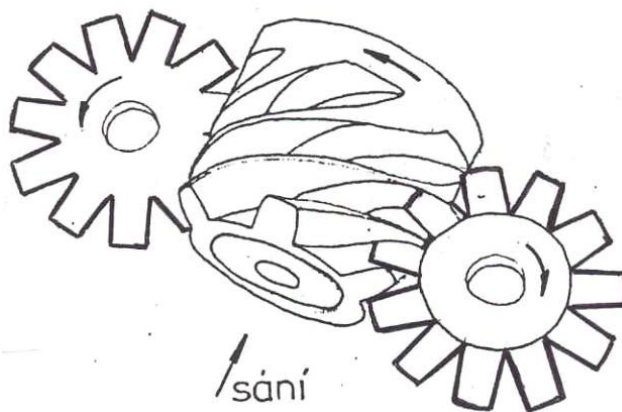
K dosažení vysokých otáček (až $n = 375 \text{ s}^{-1}$) jsou hlavní rotory bezmazných šroubových kompresorů poháněny přes převodovou skříň do rychla. I při relativně malých rozměrech dosahují výkonnosti až $40\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Podobně jako kompresory křídlové dodávají se do tlakového poměru $\sigma = 4$ jako jednostupňové, do tlakového poměru $\sigma_c = 11$ jako dvoustupňové.[3]

4.5 ŠROUBOVÉ KOMPRESORY MAZANÉ

Nástřikem značného množství oleje do pracovního prostoru (poměr hmotnosti oleje a plynu v dopravované směsi bývá 5:1) se vytváří příznivé podmínky pro přímé odvalování rotoru, dokonalé utěsnění vůlí a účinný odvod tepla ze stroje. Celkový tlakový poměr jednostupňových kompresorů lze pak zvyšovat na $\sigma_c = 10$ i více. Konstrukce stroje je jednodušší, poněvadž stroje jsou zpravidla jednostupňové, synchronizační soukolí odpadá, snižuje se počet rotorů, ucpávek i ložisek. Nezbytné je ovšem přiřadit komplikovaný systém, zajišťující cirkulaci, chlazení, čištění i odloučení oleje z dopravovaného plynu. Otáčky se snižují, takže odpadá převod mezi motorem a kompresorem. To vše vede k malé hlučnosti a ekonomickému využití stroje pro výkonnosti od 50 do $3\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Jako vývěvy dosahují tlaku v

sání 7 kPa. Osvědčují se také jako součásti pojízdných kompresorových soustav i chladicích zařízení.

Zvláštním typem mazaného šroubového kompresoru je jednorotorové soustrojí podle obr. 4.5.1. K rotoru náleží dvě volně otočná kola, vložená kolmo na hlavní osu rotoru, který je kontinuálně spojen se sacím hrdlem. Během rotace v naznačeném směru proudí nasávaný plyn do mezizubové drážky a je v ní uzavírán rozvodovými koly. Pak dochází ke kompresi a po spojení s výtlačným hrdlem k vytlačování plynu do spotřebiče. [3]



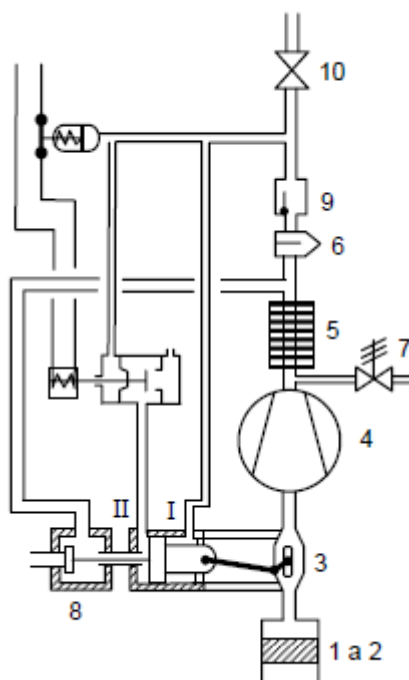
Obr. 4.5.1 Jednorotorové šroubové soustrojí

4.6 PRŮTOKOVÉ SCHÉMA ŠROUBOVÝCH KOMPRESORŮ

Komponenty a příslušenství kompresorů jsou rozdílné podle toho, zda se jedná o stroje bezmazné, nebo mazané, jednostupňové či vícestupňové, pracující samostatně nebo v napojení na společné sání. Na obr.4.6.1 je průtokové schéma jednostupňového kompresoru. Zde je vzduch nasáván z okolí přes tlumič hluku **1**, filtr **2** a škrtkovou klapku regulačního zařízení **3**. Po kompresi v pracovním prostoru **4** je vzduch ochlazován na předepsanou teplotu v chladiči **5** a v odlučovači **6** se zbavuje kondenzované vody. Před chladičem je na obtokovém potrubí instalován pojistný ventil **7**. Další obtok za odlučovačem ústí do sacího potrubí přes uzavěr odlehčovacího zařízení **8**. K odstavení kompresoru po ukončení provozu slouží uzavírací ventil **10** za výstupním hrdlem soustrojí, před kterým je ještě umístěná zpětná klapka **9**. Pokud jsou kompresory napojeny na rozvodnou síť, lze předpokládat, že tlumič i filtr není v sestavě kompresoru. V tomto případě je před sacím hrdlem umístěn vstupní uzavírací [3]

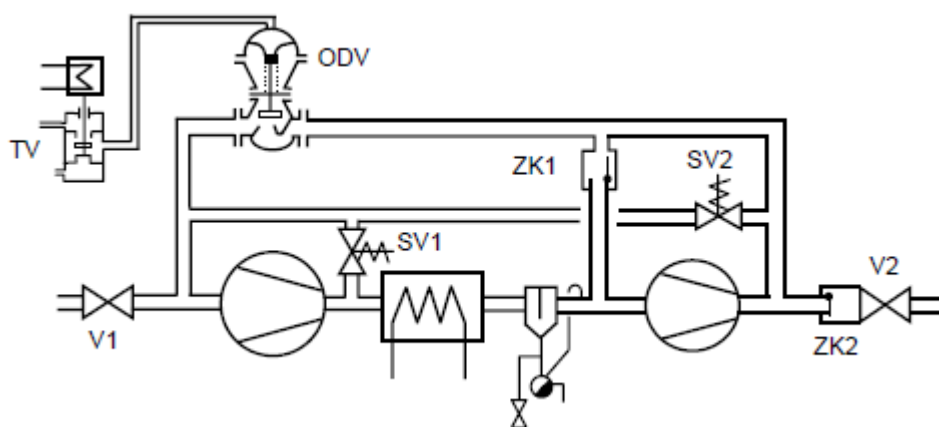
ventil.

K řízení odlehčovacího ventilu se nejčastěji využívá tlakového oleje z mazacího systému, který je k dispozici ihned po spuštění pohonu. U pneumatického ovládání je nezbytný malý zásobník stlačeného vzduchu, nebo se škrticí klapka při spouštění uzavírá ručně.



Obr. 4.6.1 Průtokové schéma jednostupňového kompresoru

Schéma dvoustupňového soustrojí se samostatným jištěním prvního a druhého stupně je na obr. 4.6.2. Zpětná klapka za prvním stupněm ústí do obtoku odlehčovacího zařízení.



Obr. 4.6.2 Průtokové schéma dvoustupňového kompresoru

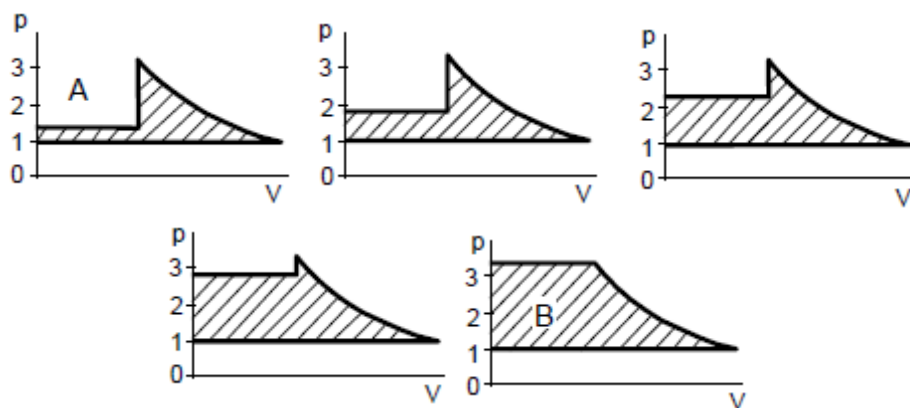
Na tomto obrázku jsou rovněž zakresleny nezbytné jistící elementy :

- V1 vstupní ventil,
- V2 výstupní ventil,
- ODV odlehčovací ventil,
- TV trojcestný elektromagnetický ventil odlehčovacího zařízení,
- SV1 pojistný ventil prvního stupně,
- SV2 pojistný ventil druhého stupně,
- ZK2 zpětná klapka na výstupu,
- ZK1 zpětná klapka za prvním stupněm.

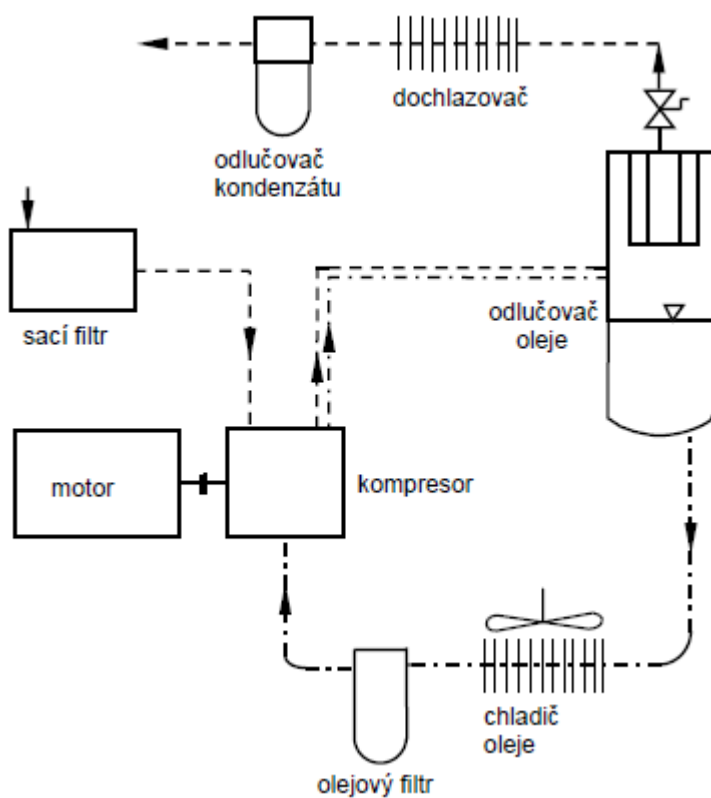
Při zajíždění zůstává ventil odlehčovacího zařízení otevřen, zpětná klapka na výtlaku je uzavřena. Po kompresi dochází v pracovním prostoru ke vnitřní kompresi a po spojení s odlehčovacím zařízením ke zpětné expanzi na tlak v sacím hrdle, jak je popsán počáteční stav při zajíždění (A) v $p - V$ diagramu na obr. 4.6.3. Zmenšení plochy $p - V$ diagramu odpovídá sníženému příkonu stroje při volnoběhu. Po rozběhu a dosažení předepsaného stavu se odfukový ventil odlehčovacího zařízení uzavírá, dochází k rychlému nárůstu tlaku. Po vyrovnání tlaku ve výtlacném hrdle s tlakem ve spotřebiči (stav B), otevírá do té doby uzavřená zpětná klapka. Tím začíná plný provoz kompresoru, zkomprimovaný plyn proudí do spotřebiče.

Po otevření ventilu odlehčovacího zařízení a okamžitém uzavření zpětné klapky je zařízení uvedeno do pohotovostního stavu. Jestliže není předpoklad brzkého zajíždění, je vypínán hlavní spínač a uzavírán vstupní i výstupní ventil.

Zajíždění kompresoru se škrcením v sání je obdobou uvádění stroje do volnoběhu a poté do zatížení (viz. regulace šroubových kompresorů).[3]



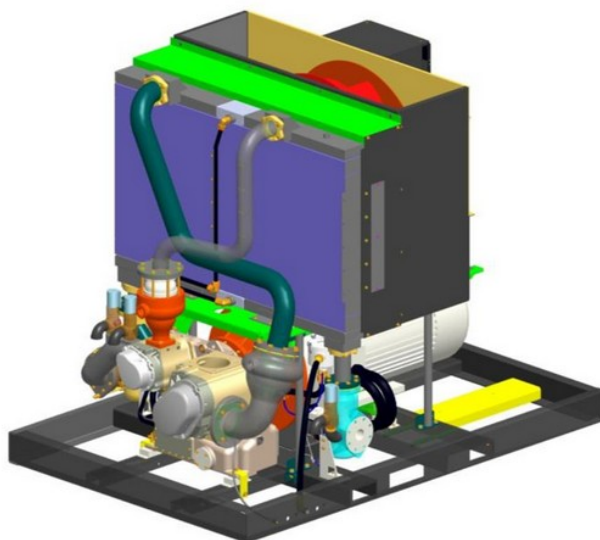
Obr. 4.6.3 Provozní stavy jednostupňového kompresoru během zajíždění



Obr. 4.6.4 Průtokové schéma mazaného kompresoru

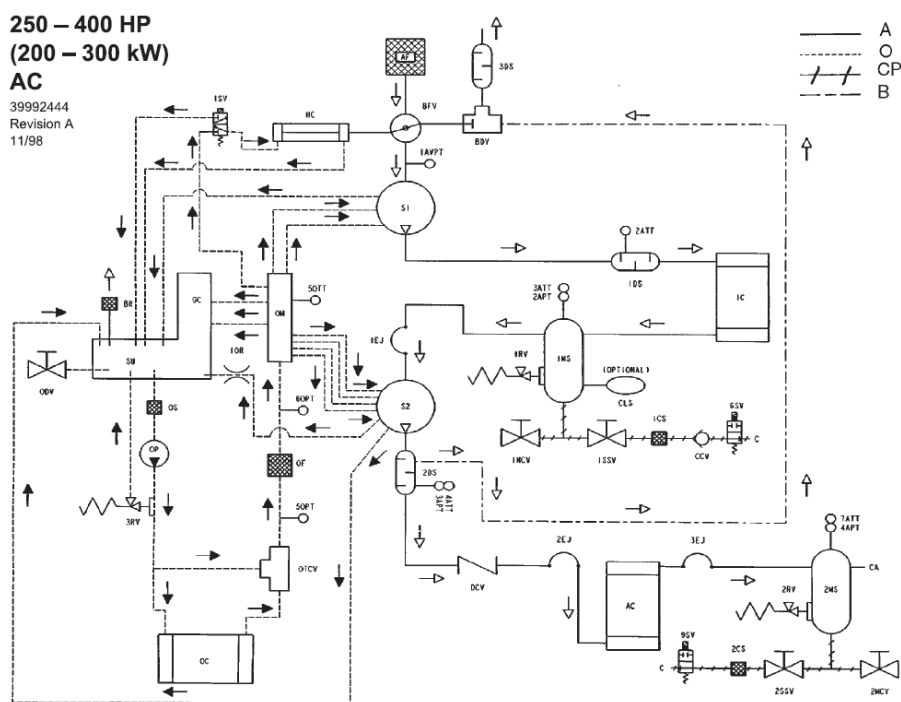
Soustrojí s mazaným šroubovým kompresorem a jeho průtokové schéma je na obr. 4.6.4

5. Šroubový kompresor Ingersoll Rand



Obr 5.1 šroubový kompresor Sierra CD26

Jedná se o kompresor Sierra CD 26 EB6 300KW který je elektromotorem poháněný je dvoustupňový suchý šroubový kompresor doplněný potrubím a přívodními kabely a je připevněn na pevný základ. Jedná se o zcela samostatný agregát vzduchového kompresoru bez oleje.



Obr. 5.2 Pohonné schéma agregátu Sierra CD 26 EB6 300KW

Základní části kompresoru jsou:

- Filtrace vstupního vzduchu
- Sestava kompresoru a motoru
- Tlakový olejový systém
- ON/OFF line systém ovládání kapacity
- Ovládací systém spouštění
- Přístroje
- Bezpečnostní zařízení
- Mezichladič
- Dochlazovač
- Odlučování vlhkosti na prvním a druhém stupni
- Automatické odstraňování kondenzátu na prvním a druhém stupni

Motor a kompresor tvoří integrální sestavu. Tato sestava je izolována od podložky gumovými výztužemi. Pro oddělení základny zákaznických přípojek jsou v případě potřeby použity pružné spoje.[2]

5.1 Princip činnosti šroubového kompresoru

Navržené tlaky

Normální provozní tlaky kompresoru Ingersoll Rand Sierra jsou 7,0 bar, 8,5 bar a 10 bar. Největší přípustný tlak je 0,2 bar nad normálním provozním tlakem a je uveden na štítku kompresoru.

Bezpečnostní ventil mezistupně je nastavený na 3,1 bar u 90-150 kW, nebo 3,8 bar u 200-300 kW. Bezpečnostní ventil druhého stupně je nastavený na 11,4 bar max. Tlakový systém je projektovaný s dostatečnou rezervou vůči nastavením ventilů.

Provozní teplota okolí kompresoru by se měla pohybovat od 2°C do 46°C.

Princip stlačování vzduchu

Kompresorový vzduch vstupuje do kompresoru otvorem v pravé části skříně. Prochází průchodem obloženým materiálem tlumícím hluk do vzduchového filtru. Přes kruhové pružné potrubí vzduch prochází vstupním/uvolňovacím ventilem do stupně kompresoru.

Šroubovitě rotory stlačují vzduch na tlak od 1,7 do 2,6 bar. Je vypuštěn do difuzéru, který tlumí všechny tlakové rázy, ke kterým může docházet. Mezichladič poté redukuje teplotu vzduchu před vstupem do druhého stupně. V tomto systému je také zapojen bezpečnostní pojistný ventil, aby zajišťoval ochranu před abnormálně vysokým tlakem na mezistupni. Ihned za mezichladičem je zapojen odlučovač vlhkosti, aby se odstranil veškerý kondenzát, který může za určitých podmínek okolní vlhkosti a teploty vzniknout. Mezi odlučovač vlhkosti a druhý stupeň je vsazen dilatační spoj.

Druhý stupeň dále stlačuje vzduch na požadovaný tlak. Tlakové rázy se tlumí v difuzéru. Dilatační spoj zabraňuje přenosu vibrací. Osazením destičkového pojistného ventilu se zabraňuje jakémukoli zpětnému proudění vzduchu do kompresoru. Dochlazovač zchlazuje vzduch na vhodnou teplotu, zatímco výstupní odlučovač vlhkosti odstraňuje podstatné množství kondenzace. Při odlehčování se vstupní odlehčovací ventil uzavírá prostřednictvím mechanického spojení, vypouštěcí ventil se otevírá a vypouští všechny stlačený vzduch z agregátu.

Princip odstraňování kondenzátu

Bezprostředně za mezichladičem a dochlazovačem je zapojen odlučovač vlhkosti, který shromažďuje a vypouští veškerý kondenzát, který se vytvořil ze stlačeného vzduchu.

Kondenzát se vypouští elektrickými ovládanými solenoidovými ventily. Doba, po kterou jsou otevřeny, je přednastavena na (3) hodnoty mezi 2 a 20 sekundami, interval mezi otevřeními lze měnit od 60 do 360 sekund, podle okolních podmínek. Pokud je teplota anebo vlhkost okolí vysoká, může být nutné interval zkrátit. Interval je výrobcem nastaven na 180 sekund.[2]

Ovladače pro ruční ventily jsou umístěny na venkovní straně a zadní straně subbáze. Tyto ventily se dodávají nenamontované, uvnitř skříně kompresoru a je třeba je připojit na otvory podle schematického obrázku. Pro kontrolu funkce solenoidových ventilů otevřete manuální obtokový ventil na chvíli jednou za den. V období delší odstávky by měly být manuální ventily ponechány otevřené. Nad ventily kondenzátu jsou umístěny čističe, které zabraňují tomu, aby jakékoli částice ucpaly solenoidové ventily. Před jakoukoli údržbou čističů nebo solenoidových ventilů je třeba uzavřít servisní ventily čističů, aby byly odděleny od možného vysokého tlaku.

Mazací systém

V převodové skříně je integrálně namontována olejová jímka. Olejové čerpadlo je zubové čerpadlo s kladným výtlakem, které je poháněno hlavní hnací hřídelí kompresoru. Otáčí se tedy otáčkami motoru.

Specifikace maziva je uvedena v údržbě kompresoru.

Z čerpadla olej vede za uvolňovací ventil do chladiče oleje. Funkcí uvolňovacího ventilu je zabránit přetlakování systému. Také reguluje tlak oleje a může odvést určitý olej zpět do jímky. Na straně výstupu z chladiče oleje je termostatický ventil. Tento ventil mísí chladný a horký olej, který obchází chladič a připravuje optimální teplotu pro ložiska a převody.

Olej poté prochází filtrem a potrubím pro rozvod. Tlak oleje určuje clona na rozvodu (2,8- 3,5 bar), při normální provozní teplotě (54-68°C).

Převodová skříň je odvětrána pomocí namontovaného větracího otvoru. Větrací otvor skříně zabraňuje tomu, aby olejové páry unikly z oblasti jímky. Výfuk větracího otvoru je odveden do potrubní části je to část agregátu.

Chladicí Systém

Mezichladič, dochlazovač, chladič oleje, ventilátor a motor tvoří integrální sestavu. Výměník tepla a ventilátor jsou namontovány vertikálně. Chladicí vzduch proudí přes levou stranu skříně, přes výměník tepla a odchází horní částí agregátu.[2]

Elektrický Systém

Elektrický systém kompresoru je vybaven mikroprocesorovým ovladačem Intellesys. Mezi standardní elektronické díly obsažené ve snadno dostupné skříni patří:

1. Ovladač Intellisys
2. Startér kompresorového motoru zapojeného do hvězdy- trojúhelníku, s pomocnými kontakty a relé pro přetížení
3. Ruční startér motoru chladícího ventilátoru a jistič nebo pojistky
4. Deska napájecího zdroje
5. Relé přetížení hlavního motoru
6. Regulační transformátory řídicího relé a pojistky

Startérem pro typ zapojením do hvězdy- trojúhelníku lze kompresor spouštět a uvádět do otáček velmi omezeným zapínacím proudem. Startér je zcela automatický a je řízen ovladačem Intellisys.

5.2 Údržba šroubového kompresoru

Každý stroj je vyroben ze součástí, které se za určitou provozní dobu opotřebují, proto se provádí údržba, která nám zajistí dlouhou životnost stroje popř. současí stroje po dobu jeho konečné životnosti stanovené výrobcem či odpracovanými hodinami.

5.3 Bezpečnostní zásady údržby

Před prováděním údržby bychom měli zajistit aby:

- byl zcela vypuštěn veškerý tlakový vzduch a zařízení odpojeno od systému. Jestliže je pro tento účel používán automatický vypouštěcí ventil, ponechte mu dostatek času pro dokončení operace,
- nemohlo dojít k náhodnému ani jinému spuštění zařízení-umístěte varovné nápisy a použijte vhodná zařízení zabráňující spuštění.[2]
- Byly všechny zdroje elektrického napájení (napájení a baterie) izolovány.

Před otevřením nebo odstraněním panelu a krytů při práci uvnitř zařízení je nutné, aby:

- si byl každý pracovník vědom nižšího stupně ochrany a dalších nebezpečí, včetně horkých povrchů a náhle se pohybujících dílů.
- nemohlo dojít k náhodnému ani jinému spuštění zařízení-umístěte varovné nápisy a použijte vhodná zařízení zabráňující spuštění.

Před prováděním jakékoliv údržby na běžícím zařízení je nutné, aby:

- prováděné práce byly omezeny pouze na ty, které vyžadují chod zařízení
- prováděné práce s vyřazenými nebo odstraněnými prvky byly omezeny pouze na ty, které vyžadují chod zařízení bez těchto prvků.
- Pracovníci byli seznámeni s hrozícím nebezpečím (např. součásti pod tlakem, součástí pod napětím, odstraněné panely, kryty a chrániče, extrémní teploty, nasávaný a vyfukovaný vzduch, náhle se pohybující díly, výstup bezpečnostního ventilu atd.)
- Byly použity přiměřené osobní ochranné pomůcky.
- Nebylo nošeno volné oblečení, šperky, rozpuštěné dlouhé vlasy atd.
- Výstražné značení o probíhající údržbě bylo umístěno na viditelném místě.

Po dokončení údržby a před uvedením zařízení do provozu zajistěte, aby:

- bylo zařízení přiměřeně testováno
- byly všechny chrániče a bezpečnostní prvky, znovu nainstalovány
- byly všechny panely znovu nasazeny a průhledné kryty a všechny dveře uzavřeny.
- byly nebezpečné materiály důkladně zabaleny a zlikvidovány.[2]

5.4 Tabulka servisních intervalu údržby

INTERVAL	ÚDRŽBA
Denně	Zkontrolujte hladinu mazacího oleje a v případě potřeby ho doplňte.
	Zkontrolujte rozdíl tlaků na vzduchovém filtru.
	Zkontrolujte funkčnost vypouštění kondenzátu.
Po prvních 150 hodinách	Vyměňte vložku filtru oleje.
	Vyčistěte čističe kondenzátu.
1 měsíc	AC Zkontrolujte chladič (chladiče), zda se v něm neusadily nečistoty. Podle potřeby ho vyfoukejte vzduchem.
Každé 3 měsíce	Ručně vyzkoušejte bezpečnostní ventily, zda se správně pohybují a zda vypouští malé množství vzduchu.
	Zkontrolujte všechny hadice, zda nevykazují známky zhoršení stavu, trhliny, zlomy, zduření apod.
2 000 hodin	Namažte ložisko motoru na <i>převodovkovém</i> konci.
	Namažte ložisko motoru na <i>nepřevodovkovém</i> konci.
4 000 hodin	Přestavte solenoidové ventily vypouštění kondenzátu pomocí souprav pro místní instalaci.
4 000 hodin/6 měsíců	Zkontrolujte tlumiče hluku vypouštění a v případě potřeby vyměňte. Vyčistěte větrací otvor převodové skříně.
6 měsíců	Zkontrolujte kalibraci snímačů tlaku. Vyměňte vložku filtru vzduch (pokud to místní podmínky vyžadují, provádějte výměnu častěji).
8 000 hodin	Prohlédněte stykač startéru a podle potřeby vyměňte.
	Vyměňte sedlo a pružinu zpětného ventilu pomocí sady pro místní instalaci.
	Přestavte vypouštěcí ventil pomocí sady pro místní instalaci.
8 000 hodin/2 roky	Vyčistěte čističe kondenzátu, Vyměňte mazací olej a vložku filtru.
	Celková kontrola odlučovače kondenzátu, všech vnějších povrchů a spojů. Ohlase jakoukoliv nadměrnou korozi, mechanické poškození, netěsnost nebo jiné faktory, které by mohly ovlivnit správnou funkci.
1 rok	Odmontujte z kompresoru bezpečnostní ventily, prohlédněte je a překalibrujte.
16 000 hodin	Přestavte hydraulický válec pomocí sady pro místní instalaci.
4 roky	Vyměňte všechny hadice.
40 000 hodin	Výměna výstupního zpětného ventilu.

6. Vibrodiagnostika

Využívá jako diagnostického parametru vibrace. A právě tento diagnostický parametr dává informace k určení objektivního technického stavu rotujících částí stroje. Sem vždy patří intenzivnější mechanické chvění (kmitání).

Kmitání je vratný pohyb, který vykonává těleso o určité hmotnosti, na které působí síly charakteristické pro danou soustavu.

Většina dnešních výrobních společností pracuje s minimálními zisky, což samozřejmě vede k nutnosti snižování výrobních nákladů a právě proto se v moderním podnikání stává mocným nástrojem i řešení dříve opomíjených problémů. K těmto mocným nástrojům patří také řešení údržby, včetně její zajištěnosti za podmínek systémového procesního chápání dané problematiky.

K nejdůležitějším prostředkům zajištěnosti údržby patří metody technické diagnostiky, tzn. i vibrodiagnostiky, které v celé své šíři působnosti nejvýrazněji ovlivňují obsah údržby v celé své komplexnosti. V praxi tzn., že technická diagnostika je hlavním nástrojem kontrolně inspekční a revizní činnosti (zjišťování technického stavu a opotřebení), rozhoduje o nutnosti a rozsahu prováděných oprav (odstraňování následků opotřebení), patří k nástrojům a prostředkům autonomní údržby (snižování rychlosti opotřebení), kde ohodnocuje dodržování zásad správného provozu.

Technická diagnostika je tedy základním atributem ovlivňujícím rozhodujícím způsobem bezpečnost provozu, tzn. je také prostředkem ke snižování rizika v obecném smyslu.

6.1 Základní definice a terminologie

Základním cílem sledování vibrací rotujících strojů je poskytnutí informací o provozním a technickém stavu za účelem zabezpečení strategického plánování a řízení údržby. Nedílnou součástí uvedeného procesu se tak stává i hodnocení stavu a průběhu vibrací za dobu dosavadního provozu.[1]

Je nutno si uvědomit, že vibrace u rotujících strojů jsou úzce vázány na dynamické namáhání stroje, souvisí se stavem ložisek, převodovek, nevývahou, nesouosostí, trhlinami v důležitých komponentech, opotřebením apod., takže jejich monitorování a vyhodnocení patří k základním a rozhodujícím metodám technické diagnostiky.

DIAGNÓZA – analýza okamžitého technického stavu objektu resp. vyhodnocení provozuschopnosti objektu za daných provozních podmínek. Základní úkoly diagnózy jsou

Detekce – odhalení existence vznikající poruchy.

Lokalizace – určení místa, vadné části nebo uzlu vznikající poruchy.

Specifikace – stanovení příčiny vznikající poruchy vyhodnocením

diagnostického signálu tzn. okamžitým stanovením a geneze po dobu provozu.

Predikace – určení prognózy zbytkové životnosti (času do nutné opravy).

6.2 Historický vývoj

Vlastní vývoj vibrodiagnostiky ve své podstatě kopíruje vývoj metod technické diagnostiky, tzn. od pocitových a vizuálních vjemů, přes jednoduché snahy o zesílení vibračního, resp. hlukového signálu se dostáváme až k použití nejmodernější měřicí techniky s maximalizací vypovídající schopností o technickém stavu sledovaného objektu.

Za zlom je nutno považovat nasazení informačních technologií (výpočetní techniky), které přineslo převratné změny do celé řady oblastí tzn. i do údržby a vibrodiagnostiky. Umožnilo nejen měření vibračního signálu, ale především možnost jeho vyhodnocení v reálném čase. [1]

Daný vývoj pak následně kopírují i jednotlivé vývojové stupně systémů provozní údržby, čímž plně zajistíme naplnění základních cílů nutných k zajištění správného provozu objektu (bezporuchovost, zajištěnost údržby, udržitelnost). Z pohledu technické diagnostiky pak mluvíme o

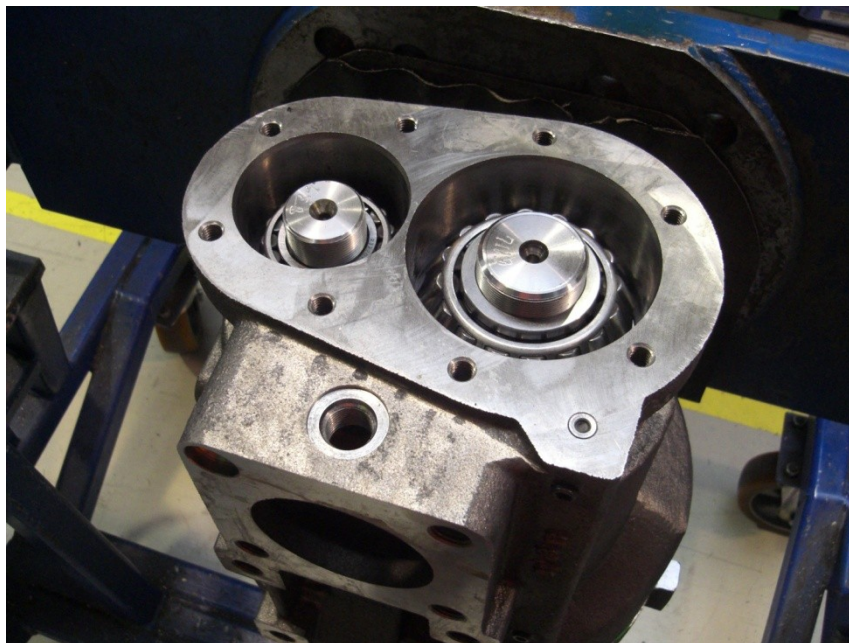
DIAGNOSTIKOVATELNOSTI – vlastnost objektu vyjadřující

způsobilost k použití diagnostických prostředků a nepřímo také o

OPRAVITELNOSTI – zajištění možnosti výměny, resp. opravy (totální havárie si vynucuje nákup nového stroje). [1]

7. Umístění snímačů při měření vibrací kompresoru

Při měření vibrací jsme snímače umístili na místa, kde se nachází ložiska, kompresorové šrouby na jednotlivých stupních a pohonná ozubená soukolí pro společný pohon.



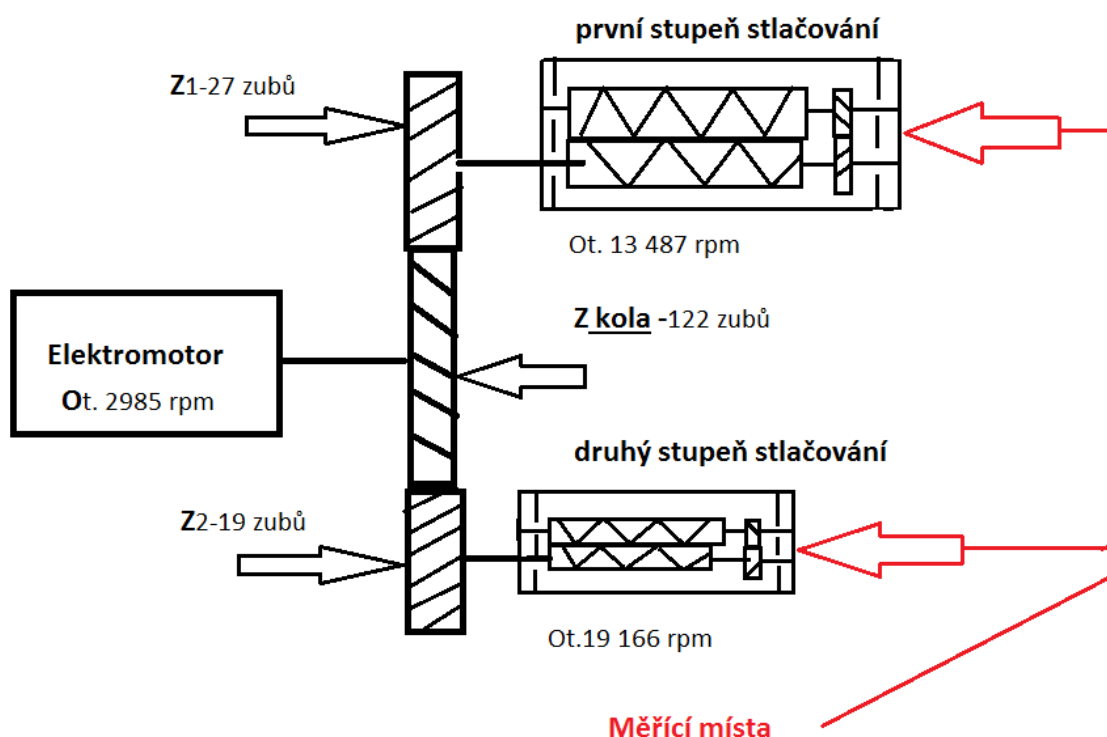
Obr. 7.1 druhý stupeň stlačování s ložisky

Šrouby kompresoru jsou leštěny a povrchově upraveny tak, aby jejich životnost v provozu byla bezporuchová a stálá.



Obr. 7.2 Šrouby kompresoru

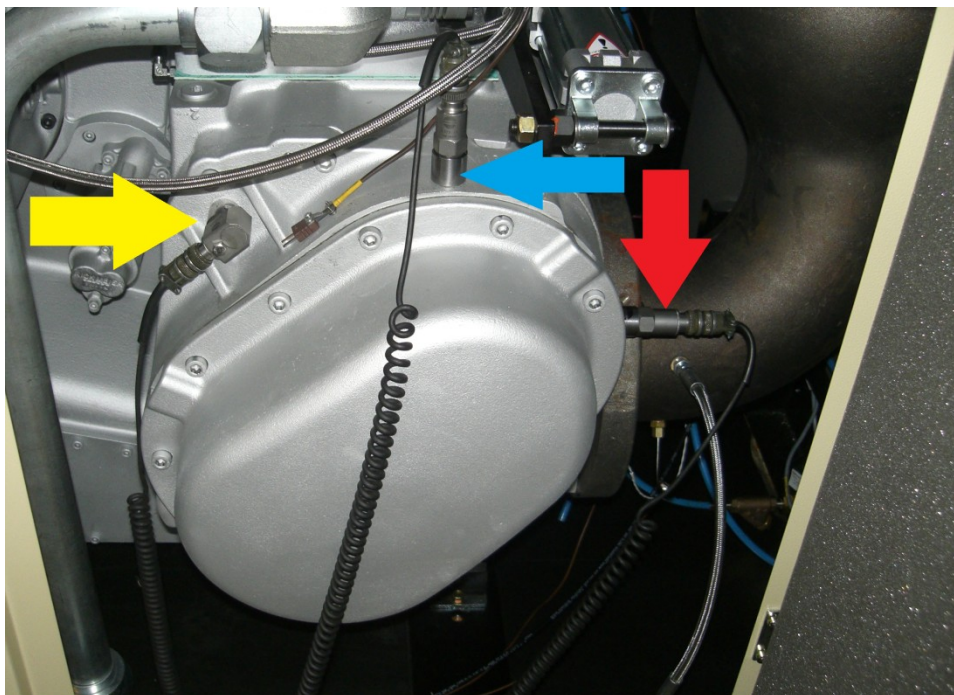
Jak už bylo řečeno v kap.5. se jedná o dvoustupňový kompresor. Každý stupeň se skládá ze dvou šroubu jak už, jste mohli vidět na obr. Šrouby kompresoru a tak se tyto šrouby dělí na Female a male(žena,muž) a to proto, že každý má jiný počet závitů. Na prvním stupni jsou závity Female 4, male 3 na druhém stupni Female 6 a male 4.Podle počtu zubů viz. Obr. 7.3



Obr. 7.3 Schéma šroubového kompresoru

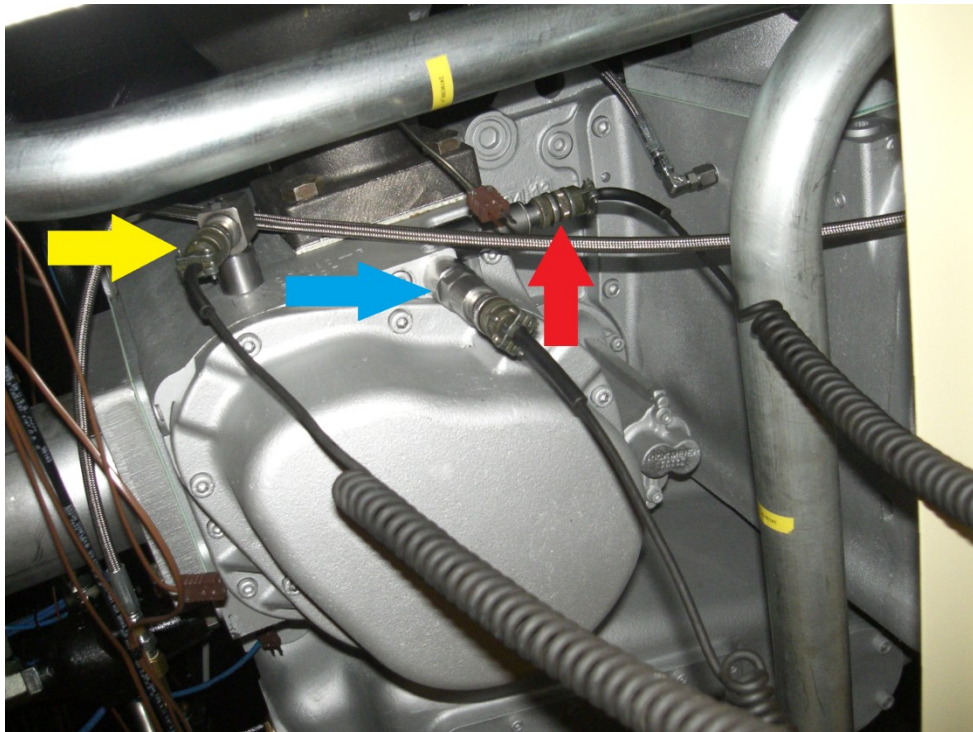
7.1 Přesná místa umístění snímačů pro měřící zařízení adash

Snímače na měření vibrací jsme použily 3 jednoosé akcelerometry, které mají magnetické uchycení. Tyto snímače jsme umístili ve třech osách (axiální, horizontální a vertikální) na určená místa prvního a druhého stupni stlačování viz. obr. 7.1.1-2



Obr. 7.1.1 Prvního stupně stlačování se snímači

Snímač A (žlutá) - axiálně, **Snímač B** (červená)- horizontálně, **Snímač C** (modrá) – vertikálně



Obr. 7.1.2 Druhého stupně stlačování se snímači

Snímač A (žlutá) - vertikálně, **Snímač B** (červená)- horizontálně, **Snímač C** (modrá) - axiálně

7.2 Přesná místa umístění snímačů pro měřicí zařízení SPM

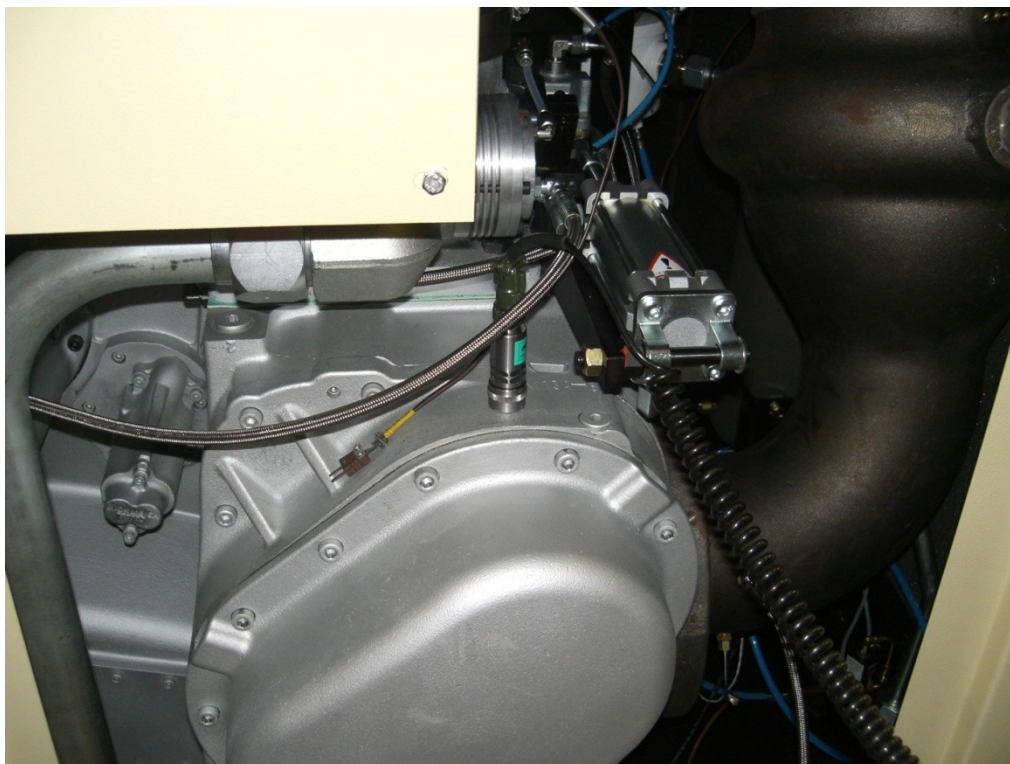
Snímač na měření jsme použili také akcelerometr jednoosí magnetický pouze jeden. Umístění bylo stejné ve všech třech osách (axiál, horizontál, vertikál) na obou stupních stlačování s tím, že měření probíhalo déle viz. Obr. 7.2.1 až 6



Obr. 7.2.1 První stupeň stlačování-axiální umístění



Obr. 7.2.2 První stupeň stlačování-horizontální umístění



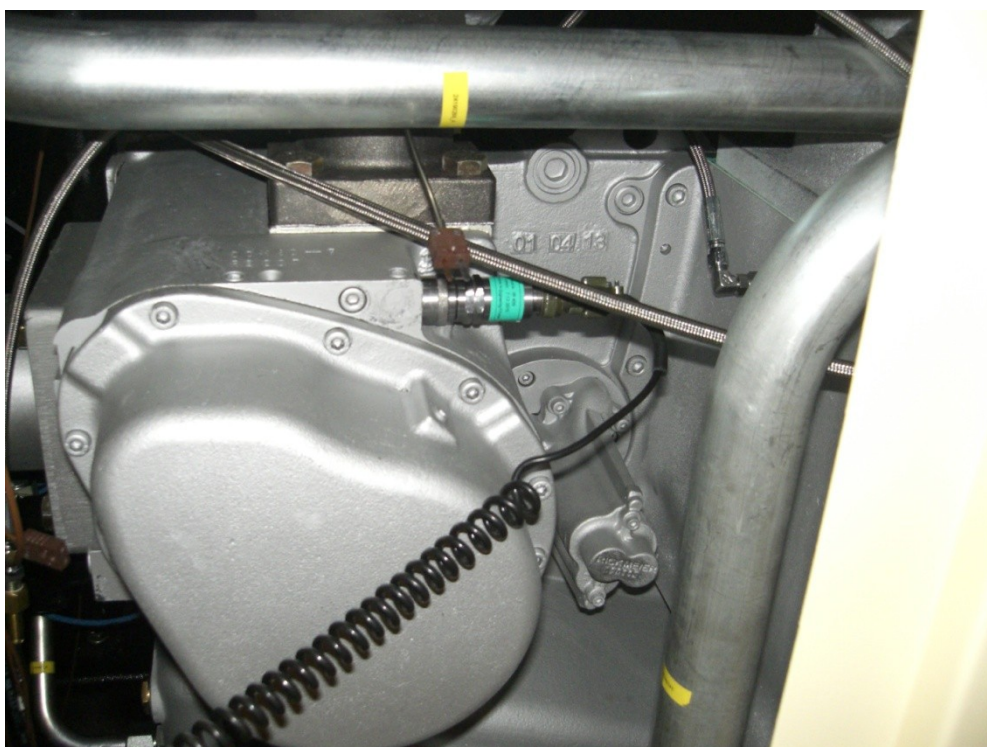
Obr. 7.2.3 První stupeň stlačování – vertikální umístění



Obr. 7.2.4 Druhý stupeň stlačování-vertikální umístění



Obr. 7.2.5 Druhý stupeň stlačování - axiální umístění



Obr. 7.2.6 Druhý stupeň stlačování-horizontální umístění

7.3 Měřicí zařízení na měření vibrací Adash

Přístroj **A4400 - VA4 Pro** je špičkovým přístrojem pro provádění měření v oblasti vibrační diagnostiky strojů. Poslední verze obsahuje rovněž modul pro provádění akustických měření. Přístroj obsahuje základní moduly analyzátoru, datakolektoru a rekordéru měřených signálů. Kromě toho přístroj je vybaven moduly pro provozní vyvažování strojů, měření rozběhů a doběhů, kontrolu mazání a poslech vibračního signálu. Přístroj je rovněž vybaven zcela unikátním expertním systémem, vyvinutým firmou Adash, pro automatickou detekci poruch strojů.

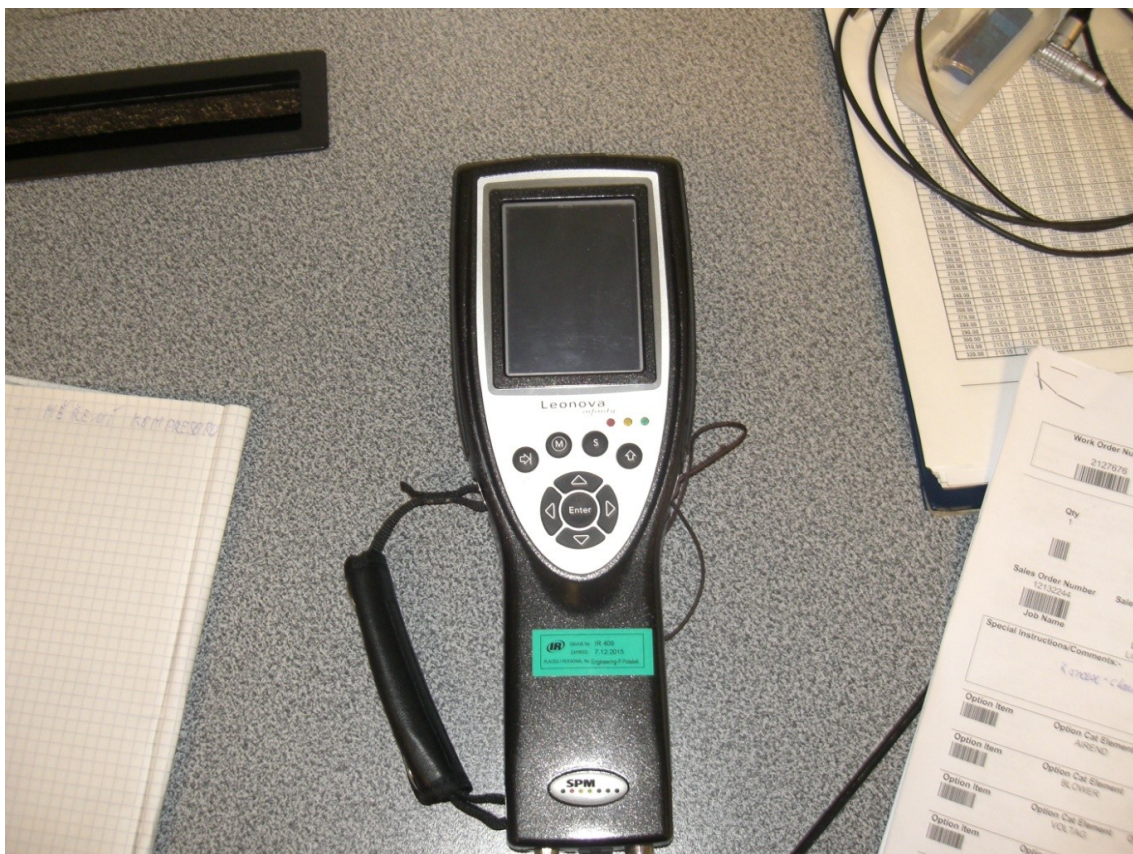


Obr. 7.3.1 Va4Pro analyzer

Přístroj **A4400 - VA4 Pro** je určen zejména pro pracovníky zabývající se diagnostikou strojů, provozním vyvažováním a rovněž pro servisní a inspekční činnost.[4]

7.4 Měřicí zařízení na měření vibrací Leonova od firmy SPM

Diagnostický přístroj Leonova Infinity je nejmodernější a nejkomplexnější přístroj na současném trhu. Může obsahovat mnoho funkcí pro diagnostiku a údržbu, přičemž jakoukoliv z těchto funkcí lze do přístroje instalovat kdykoliv později, což výrazně přispívá k ochraně vynaložené investice.



Obr. 7.4.1 Přenosný diagnostický přístroj Leonova infinity

Základ přístroje Leonova (tzv. Platform) vždy obsahuje následující funkce:

- Měření mohutnosti vibrací dle ISO 2372 (vyžaduje doplnění vibračního snímače)
- Měření otáček (vyžaduje doplnění optické sondy)
- Měření teploty povrchu a kapalin (vyžaduje doplnění teplotní sondy)
- Měření pomocných analogových signálů (proudová smyčka či napěťový signál, lze předefinovat např. na tlak, průtok, ...)
- Bezkontaktní komunikace s identifikátory měřících bodů CondId
- Komunikace s nadstavbovým software Condmaster Pro[5]

8 Průběh měření a zpracování signálu

Měření vibrací probíhalo ve firemním závodě Ingersoll Rand v Uničově na suchém šroubovém kompresoru Sierra CD 26 EB6 300KW. Měřený kompresor byl nově zaveden do výroby, a proto byl testován na vibrace.

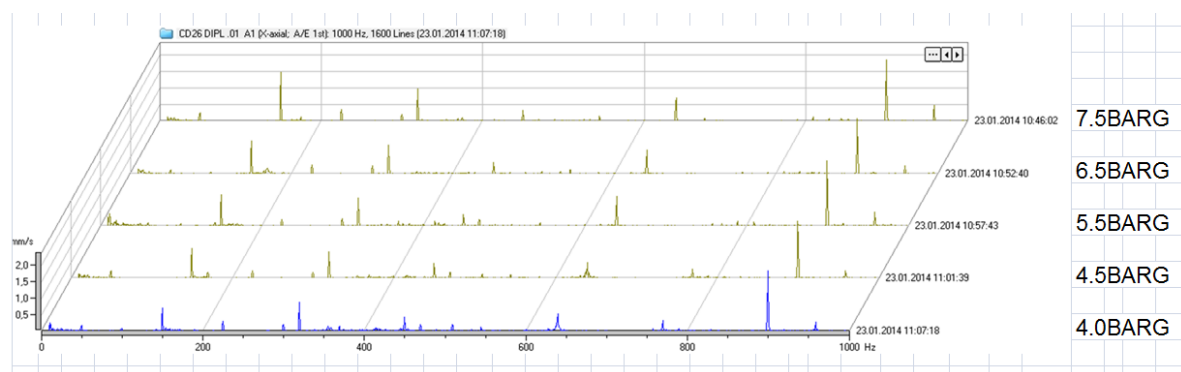
8.1 Postup měření

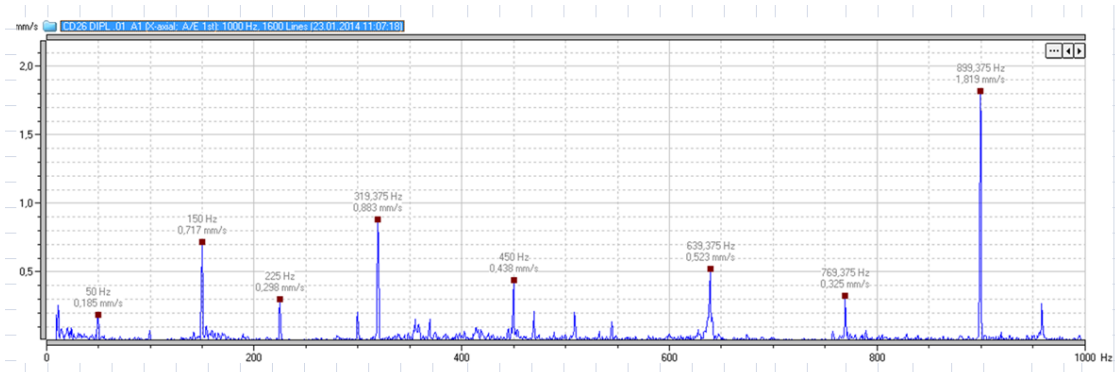
Kompresor byl umístěn ve zkušební hale, kde byl spuštěn. Po 15 minutách provozu, kdy se kompresor zahřál na provozní teplotu, jsme nastavily kompresor na maximální tlak 7.5 baru. Až se tlak ustálil umístily jsme snímače viz kap.7 a snímaly hodnoty, které se následně ukládaly na měřicí zařízení vibrací (20 sekund měření na prvním a druhém stupni stlačování). Potom jsme tlak snižovali po 1 bar a měření jsme opakovaly až po minimální tlak kompresoru 4 bar. Data, která byla uložena v přístroji Leonova od SPM se pomocí paměťové karty přenesla do firemního programu a následně zpracovala. V přístroji A 4400 Va4Pro od Adash byla data dále zpracována v softwarovém programu A4410 Virtual Unit.

8.2 Zpracovaná data ve firemním programu Ingersoll Rand

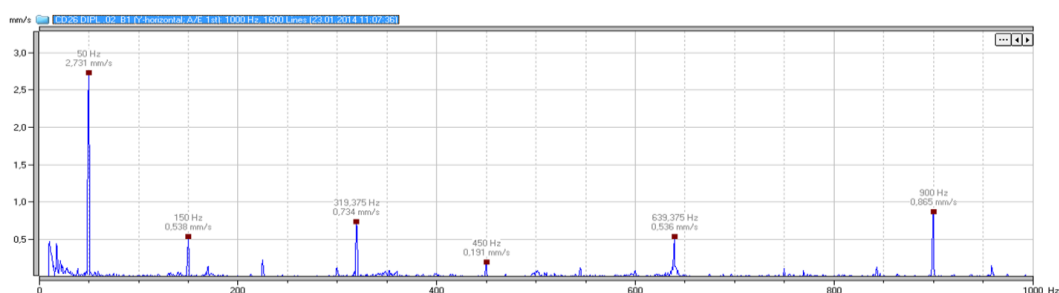
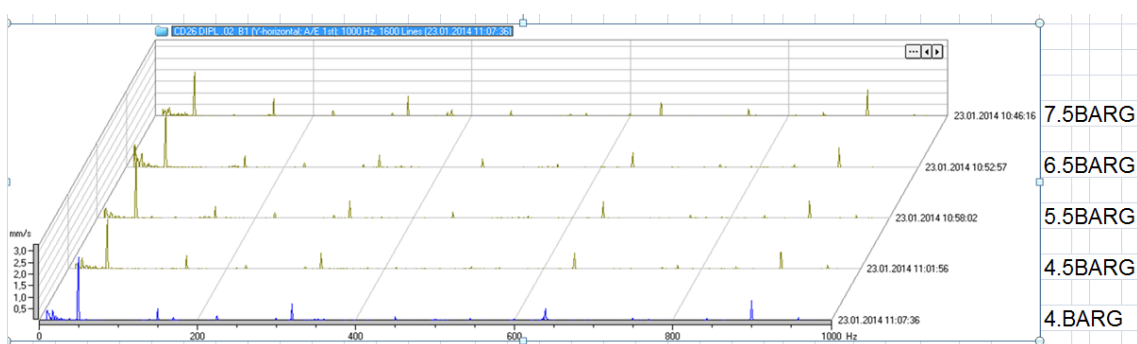
Data jsou ve formě grafu, kde se určuje závislost frekvence na rychlosti vibrací rozsah frekvence je od 0 do 1000 Hz a rychlost nemá stanovenou horní mez.

8.2.1 Hodnoty spekter na prvním stupni stlačování

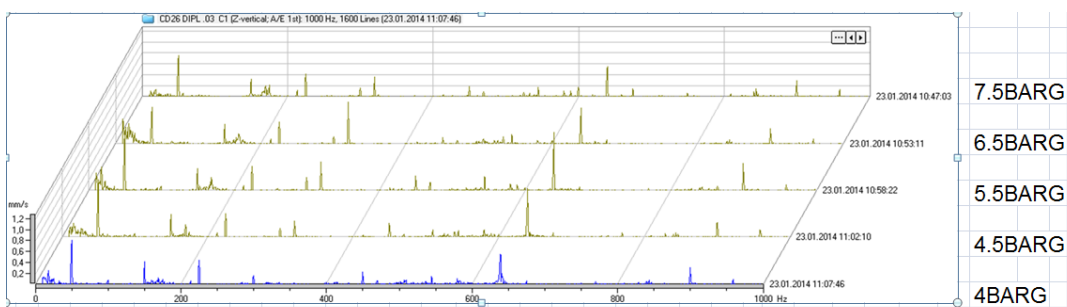


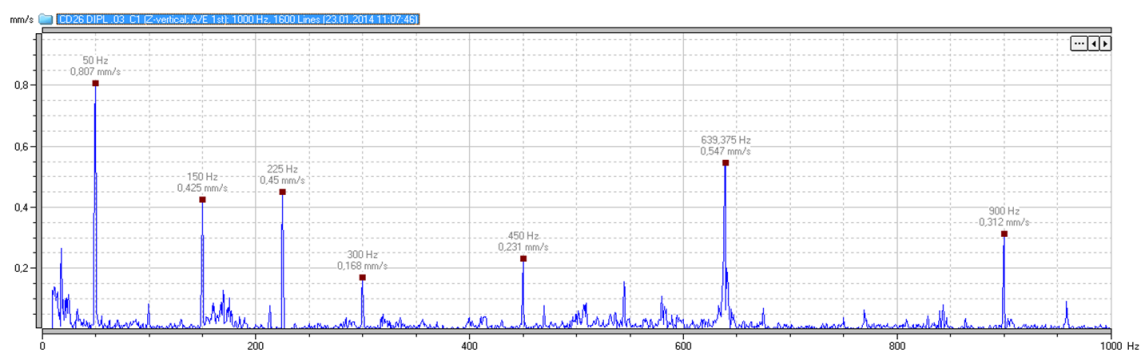


Obr 8.2.1.1 Spektra hodnot axiálním směru



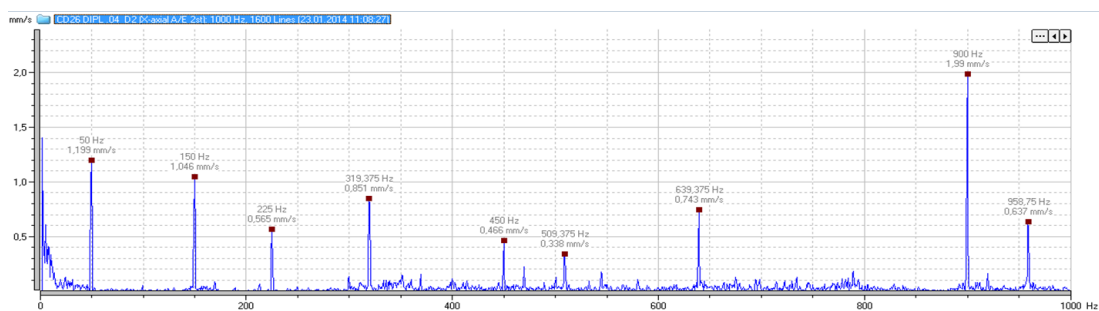
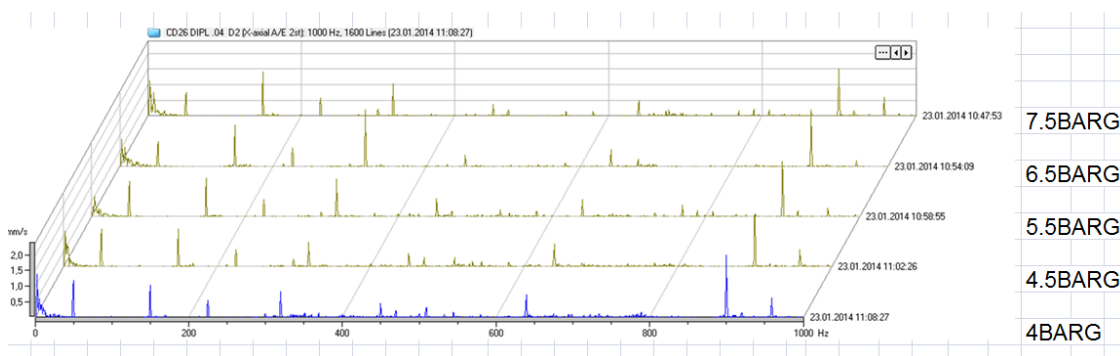
Obr. 8.2.1.2 Spektra hodnot v horizontálním směru



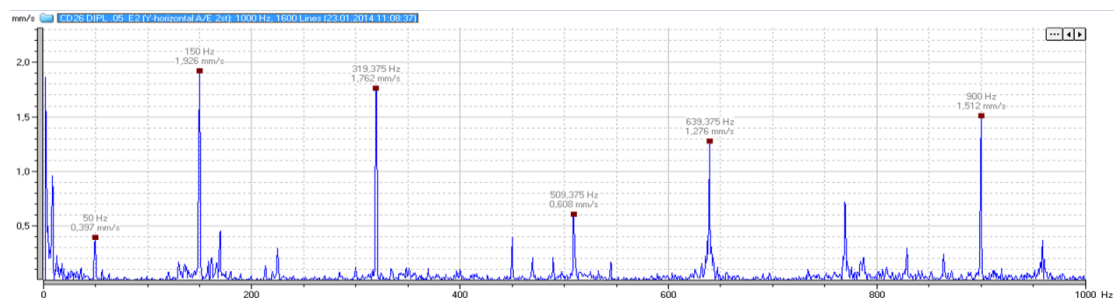
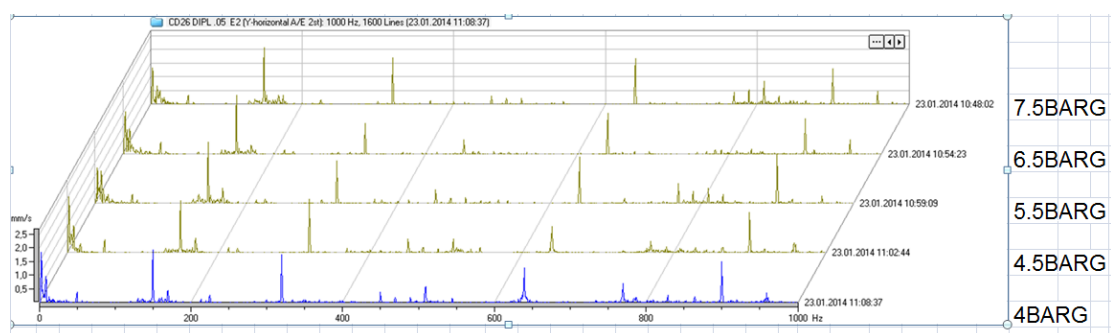


Obr. 8.2.1.3 Spektra hodnot ve vertikálním směru

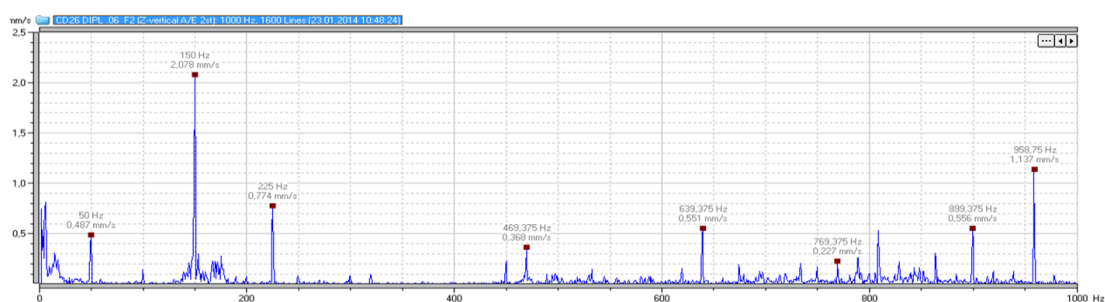
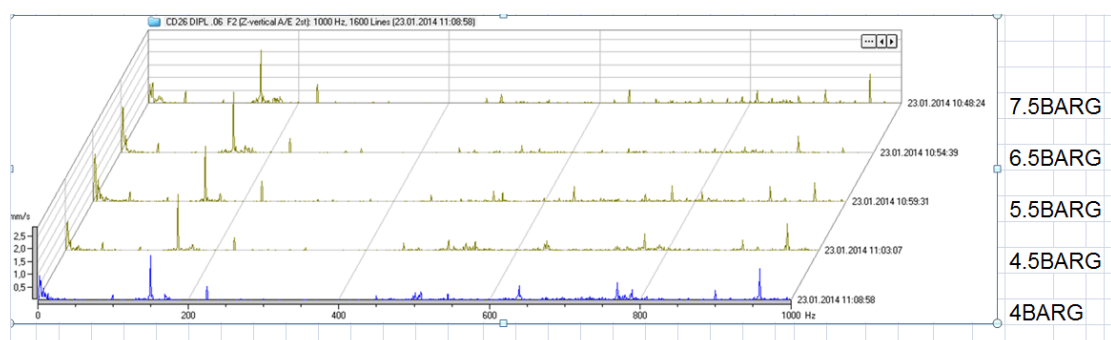
8.2.2 Hodnoty spekter na druhém stupni stlačování



Obr. 8.2.2.1 Spektra hodnot v axiálním směr



Obr. 8.2.2.2 Spektra hodnot v horizontálním směru

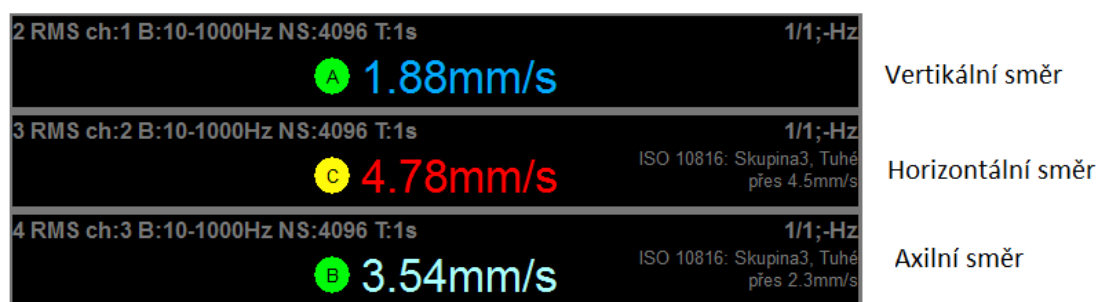


Obr. 8.2.2.3 Spektra ve vertikálním směru

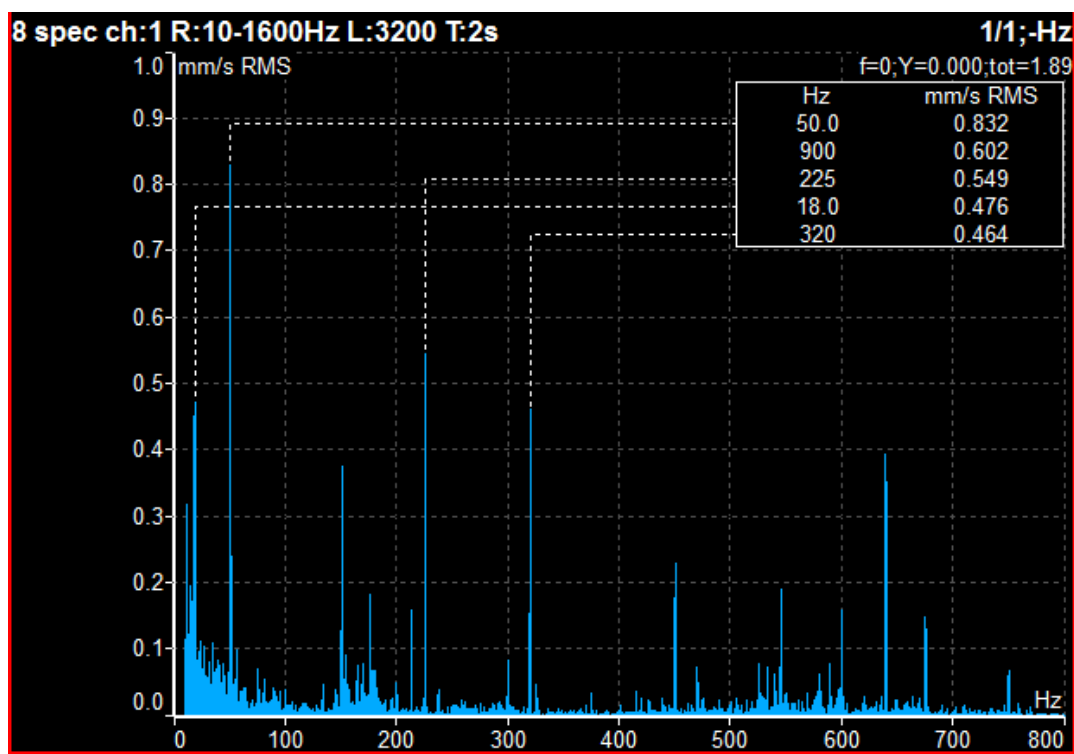
8.3 Zpracovaná data v programu A4410 Virtual Unit

Data jsou ve formě spekter, které byly vytvořeny v programu A4410 Virtual Unit. Díky softwaru si můžeme naměřené hodnoty různě upravovat a zaměřovat se na konkrétní věci. Zvolil jsem data pro měření rychlosti vibrací mm/s v závislosti na frekvenci Hz

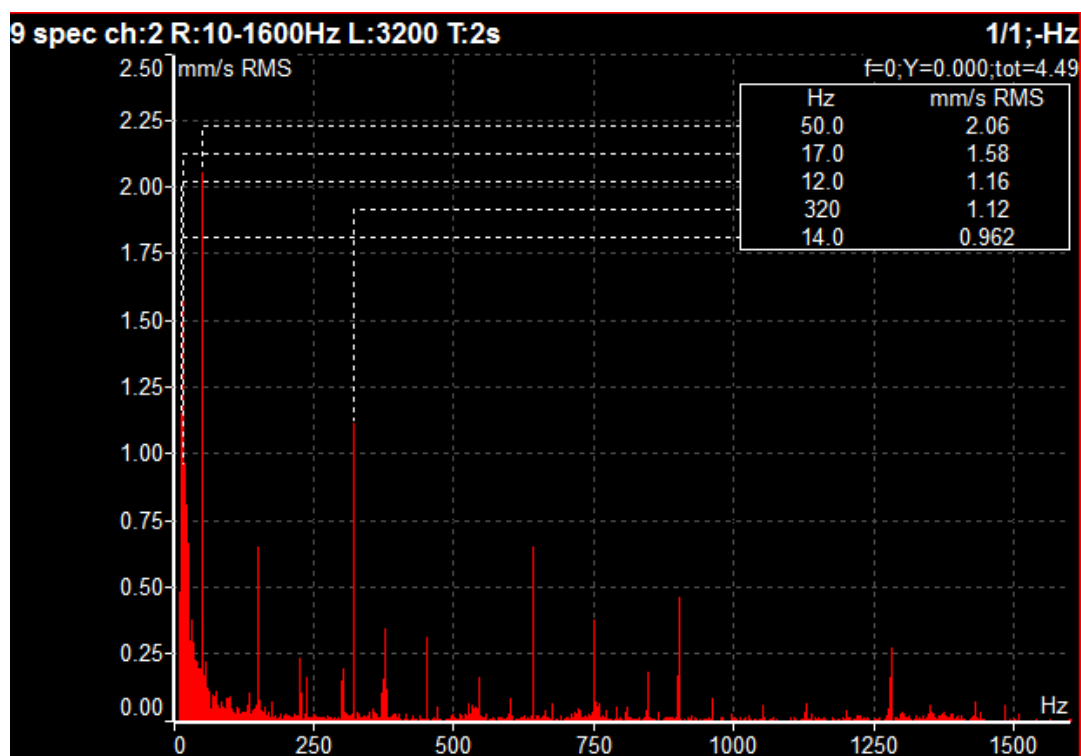
8.3.1 Hodnoty spekter na první stupni stlačování



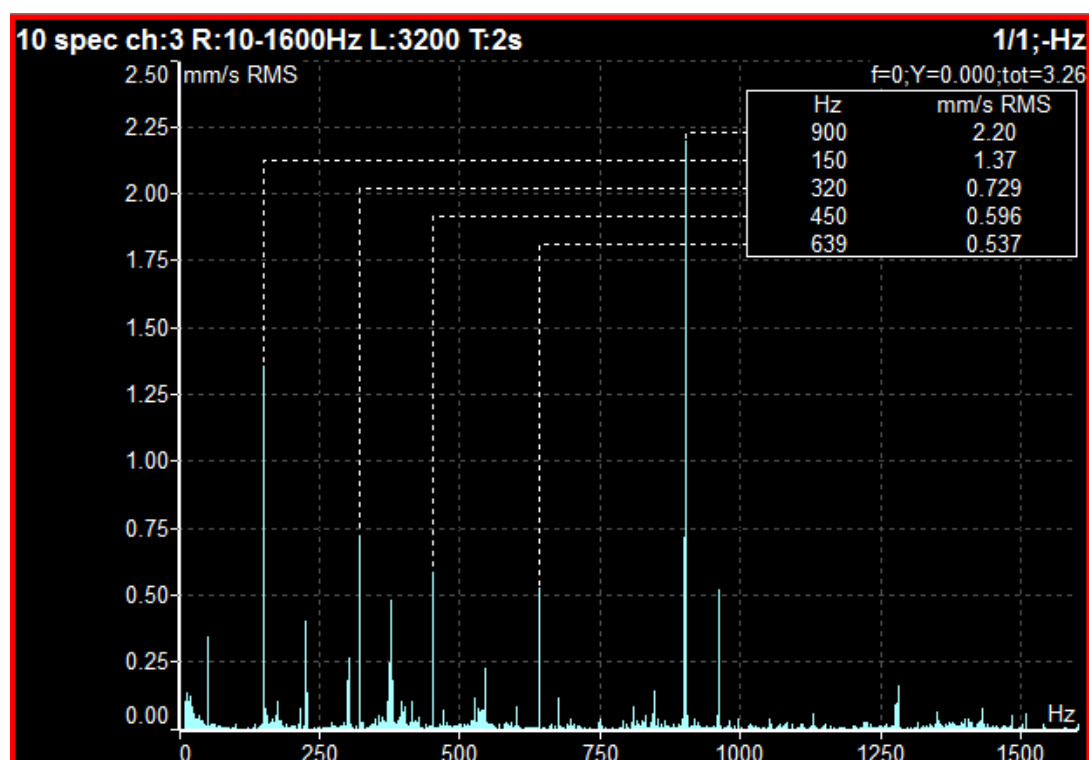
Obr 8.3.1.1 hodnoty vibrací pro normu ISO10816 při tlaku 7.5 bar



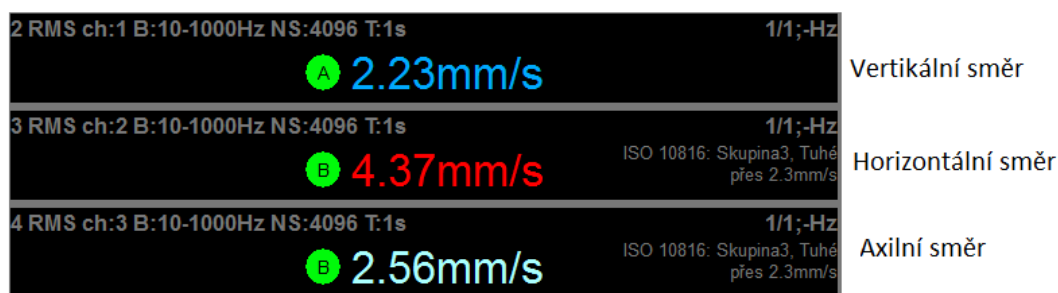
Obr. 8.3.1.2 spektrum při tlaku 7.5 bar ve vertikálním směru



Obr. 8.3.1.3 spektrum v horizontálním směru při tlaku 7.5bar

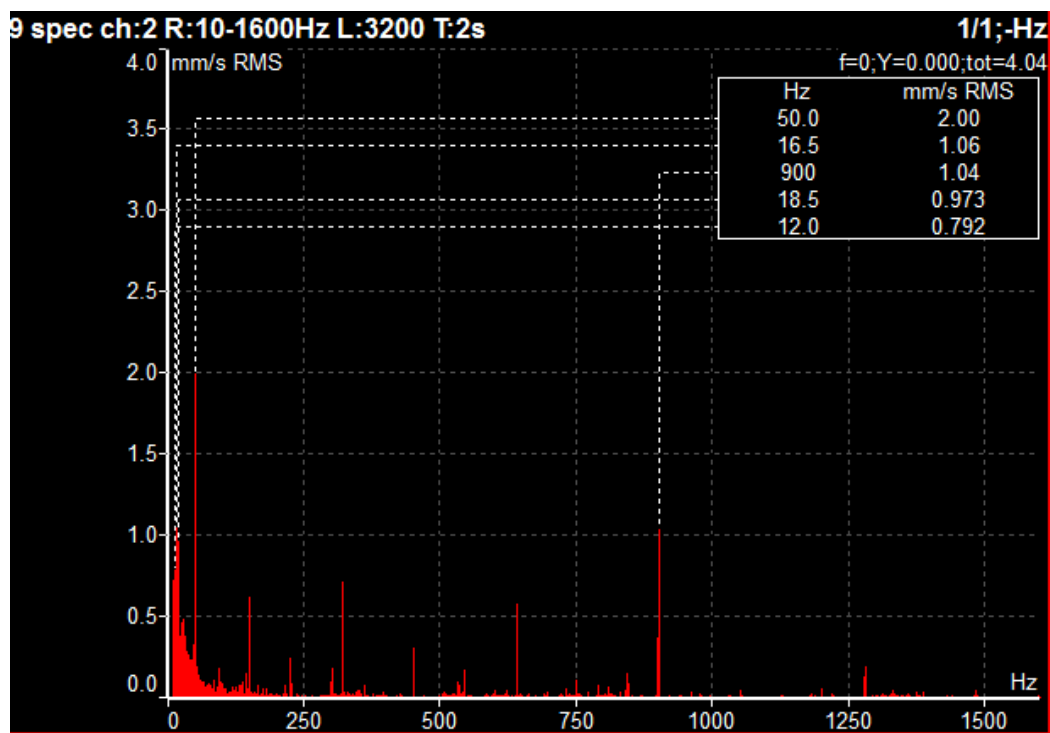


Obr. 8.1.3.4 Spektrum v axiálním směru při tlaku 7.5 bar

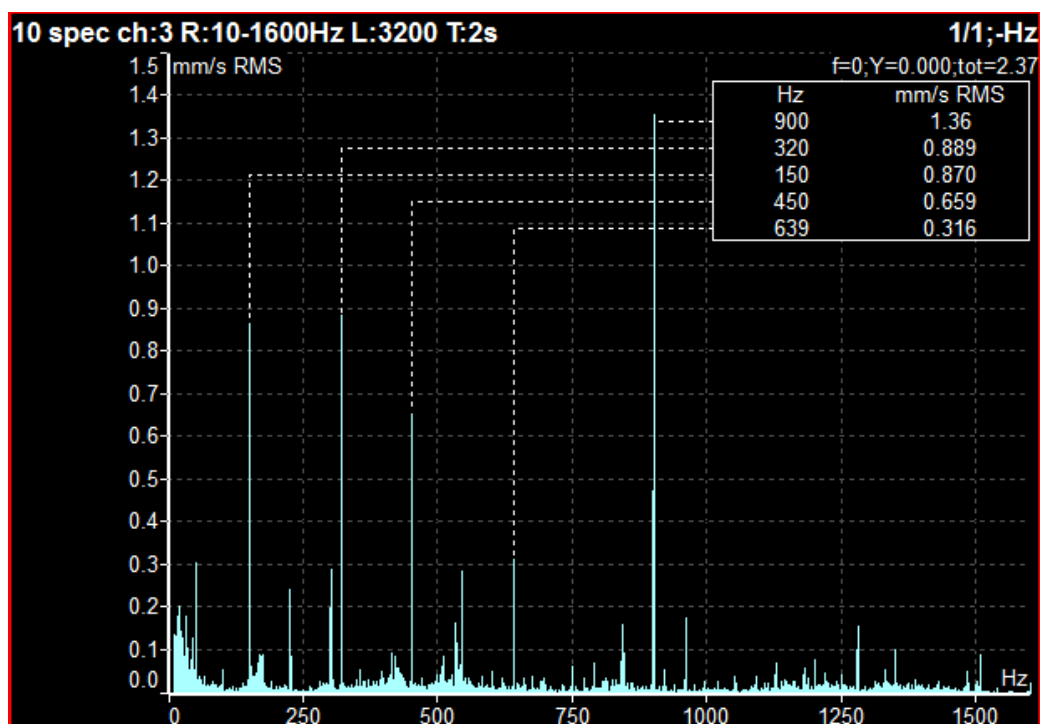


Obr. 8.1.3.5 hodnoty vibrací pro normu ISO 10816 při tlaku 6.5 bar

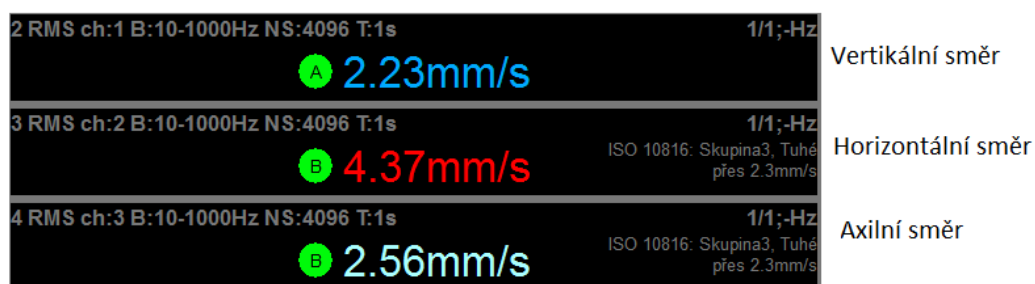
Obr.8.1.3.6 spektrum ve vertikálním směru při tlaku 6.5 bar



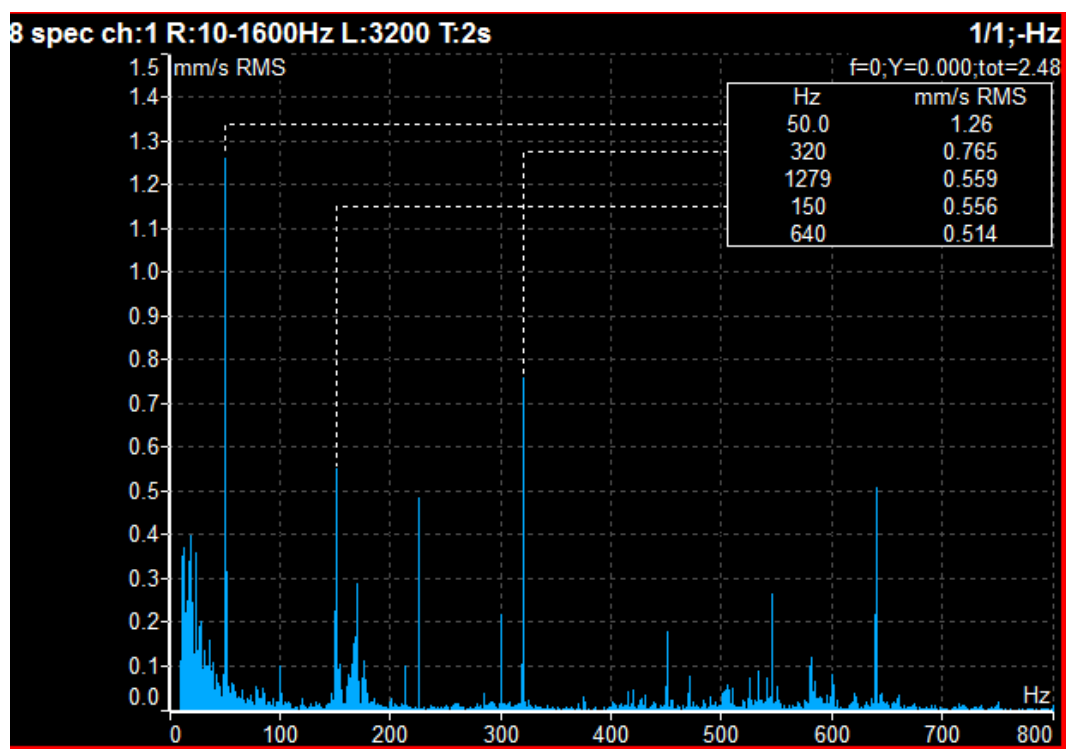
Obr.8.3.1.7 spektrum v horizontálním směru při tlaku 6.5 bar



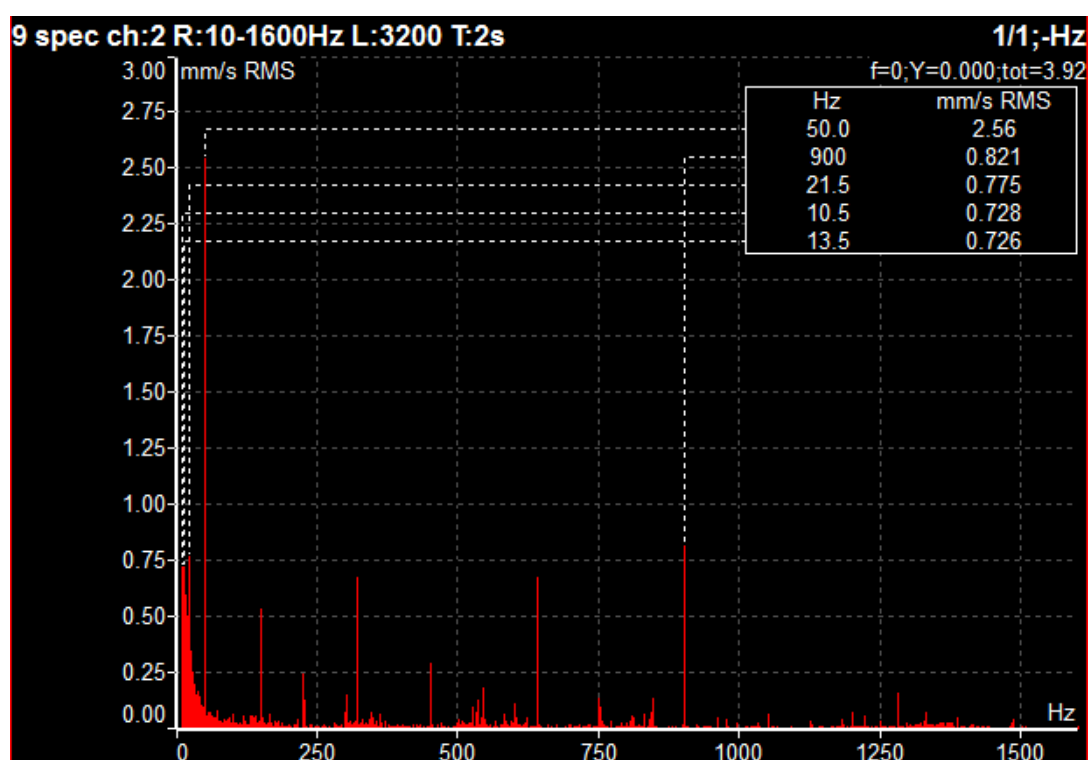
Obr. 8.3.1.8 spektrum v axiálním směru při tlaku 6.5 bar



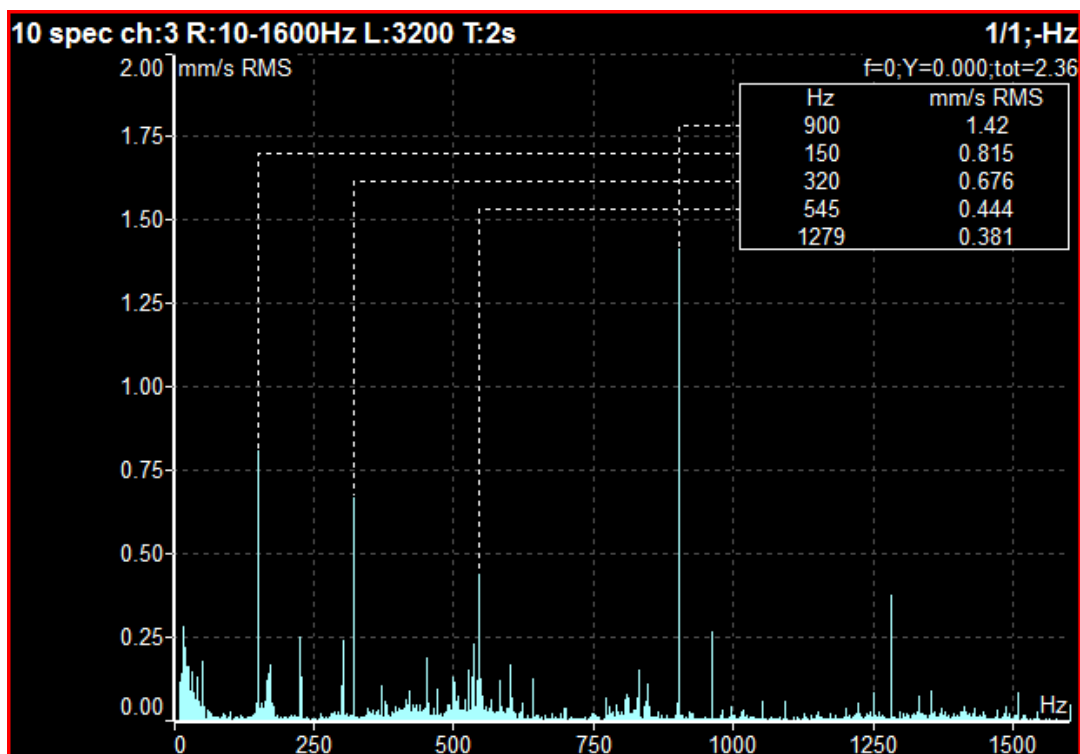
Obr 8.3.1.9 hodnoty vibrací pro normu ISO 10816 při tlaku 5.5 baru



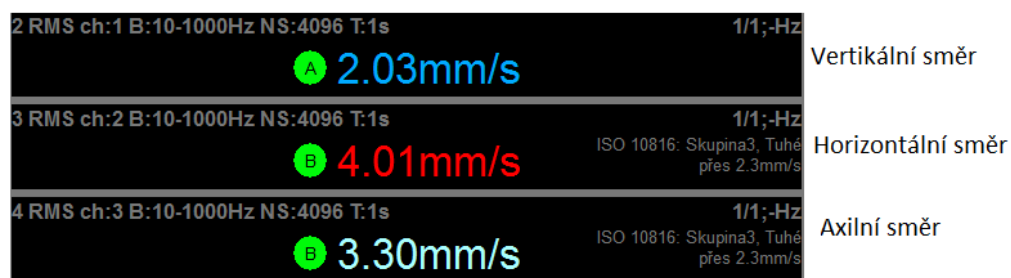
Obr. 8.3.1.10 spektrum ve vertikálním směru při tlaku 5.5 bar



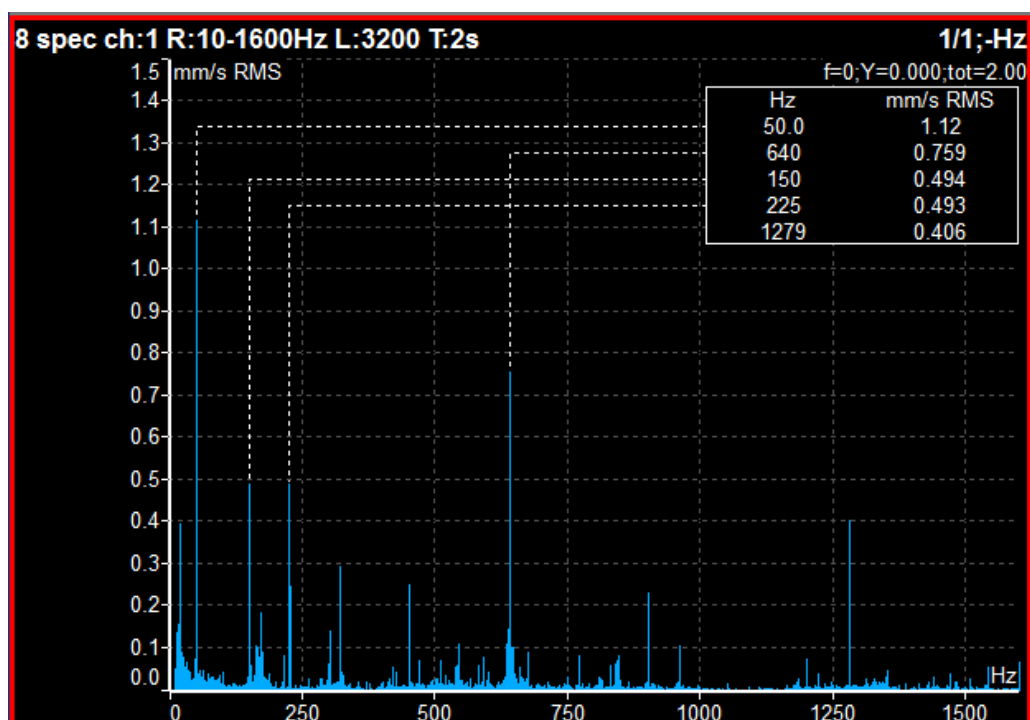
Obr. 8.3.1.11 spektrum v horizontálním směru při tlaku 5.5 bar



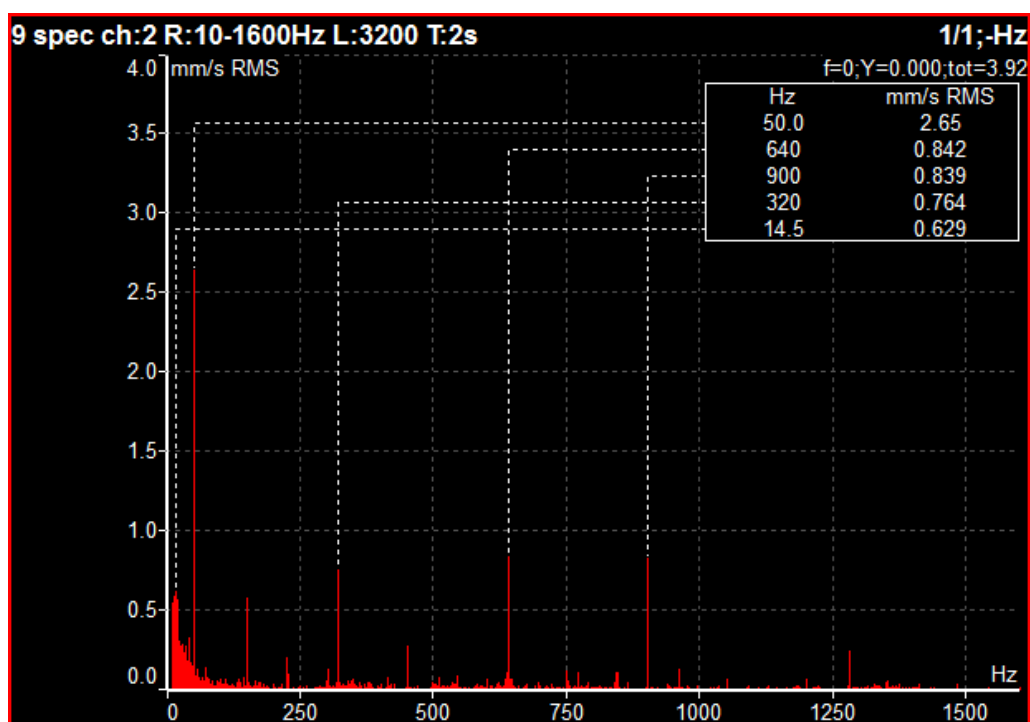
Obr. 8.3.1.12 spektrum v axiálním směru při tlaku 5.5 bar



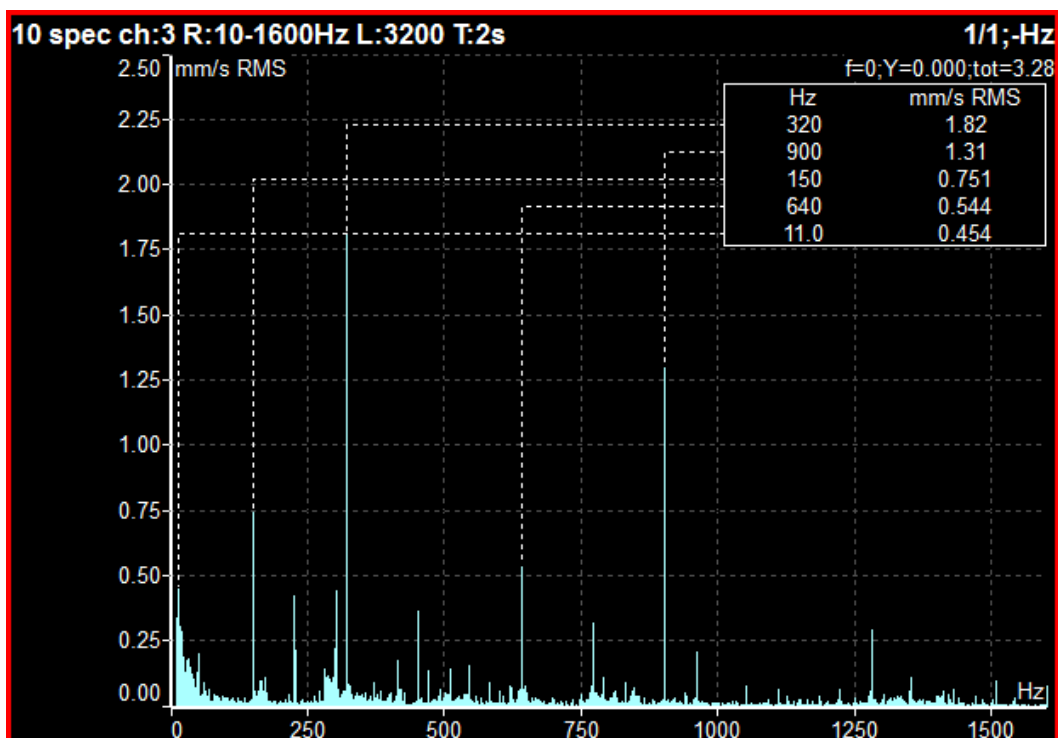
Obr. 8.3.1.13 hodnoty vibrací pro normu ISO 10816 při tlaku 4.5 baru



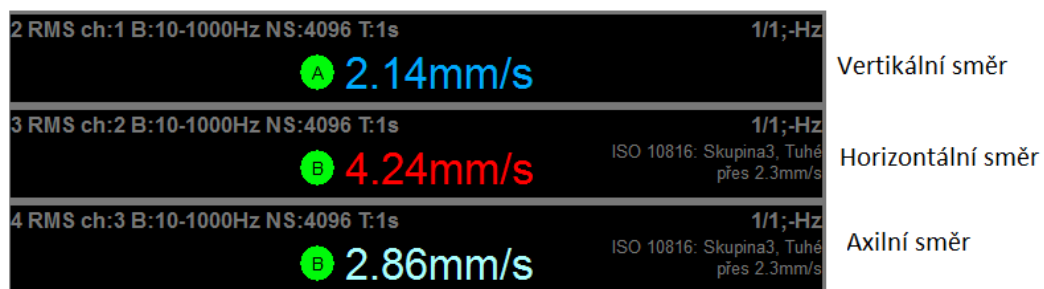
Obr. 8.3.1.14 spektrum ve vertikálním směru při tlaku 4.5 bar



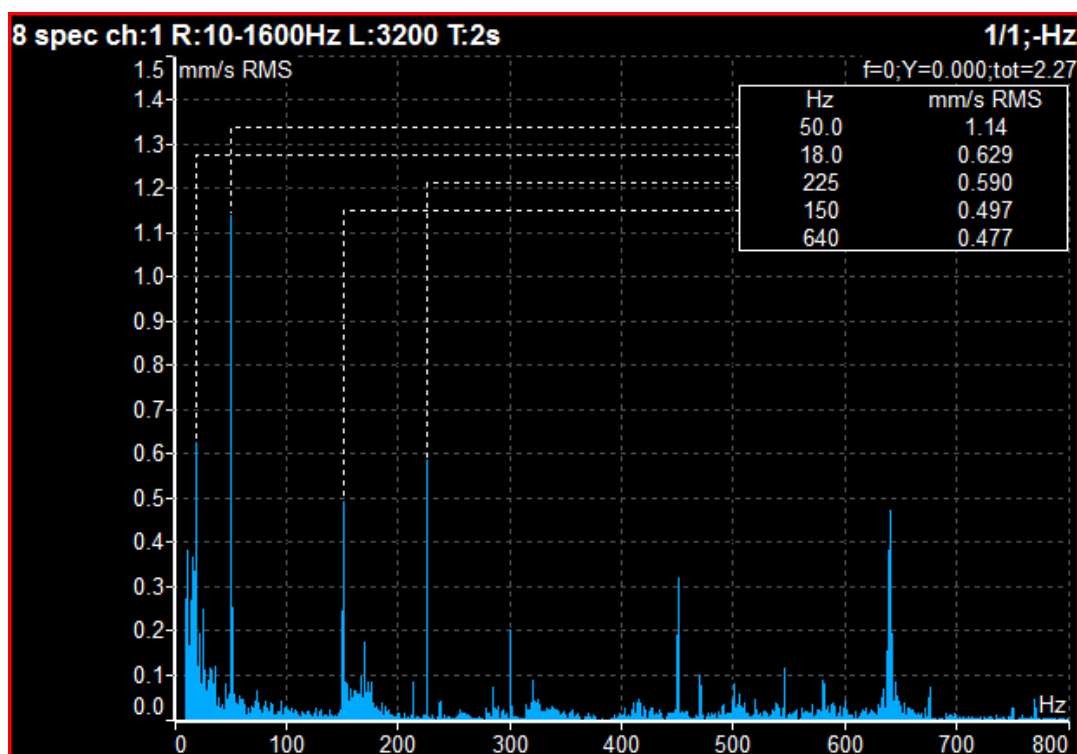
Obr. 8.3.1.15 spektrum v horizontálním směru při tlaku 4.5 bar



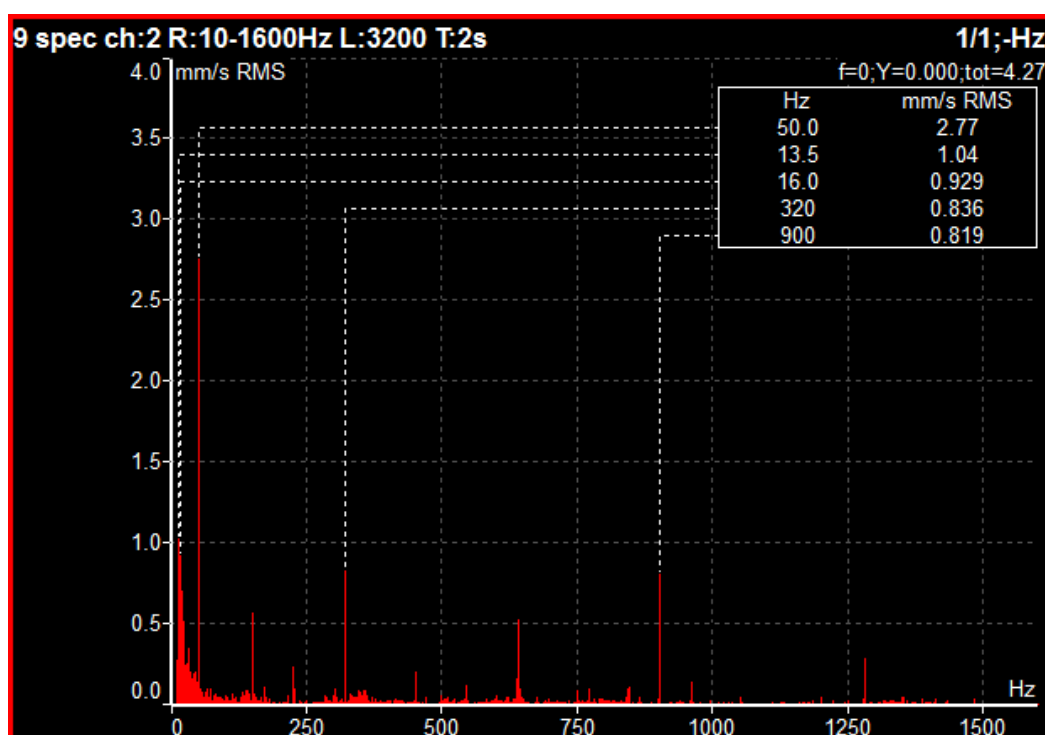
Obr. 8.3.1.16 spektrum v axiálním směru při tlaku 4.5 bar



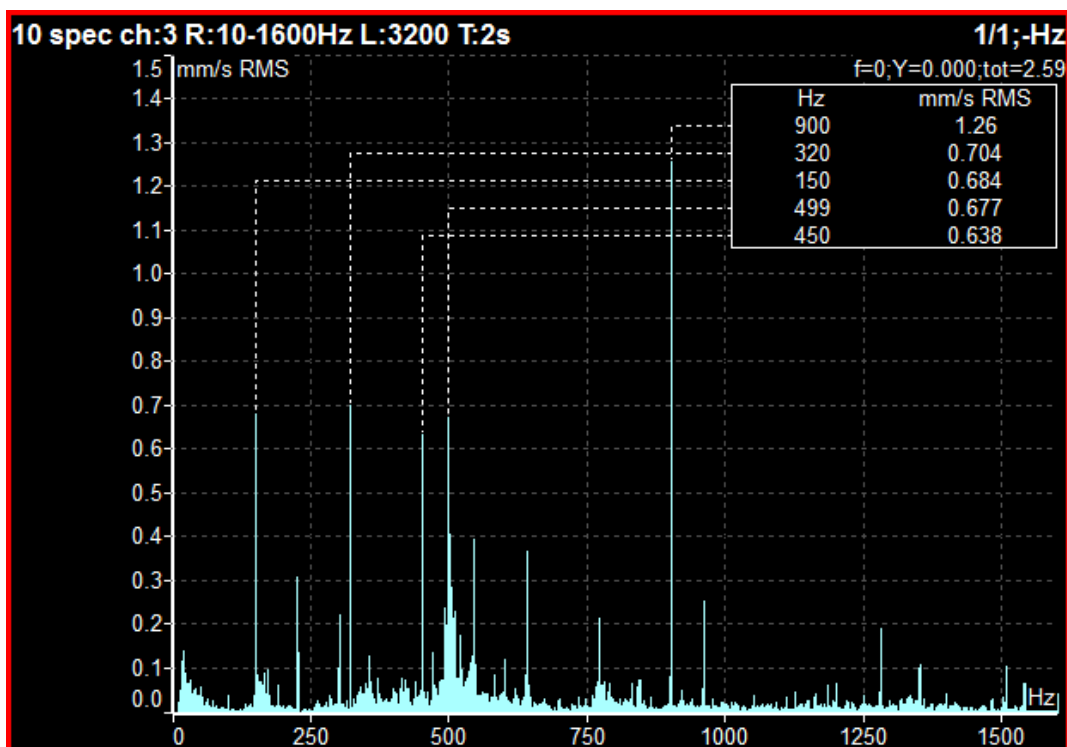
Obr. 8.3.1.17 hodnoty vibrací pro normu ISO 10 816 při tlaku 4 baru



Obr. 8.3.1.18 spektrum ve vertikálním směru při tlaku 4.0 bar

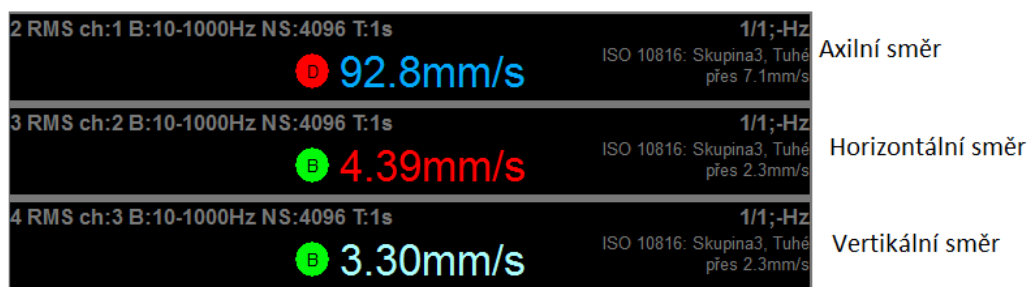


Obr. 8.3.1.19 spektrum v horizontálním směru při tlaku 4.0 bar

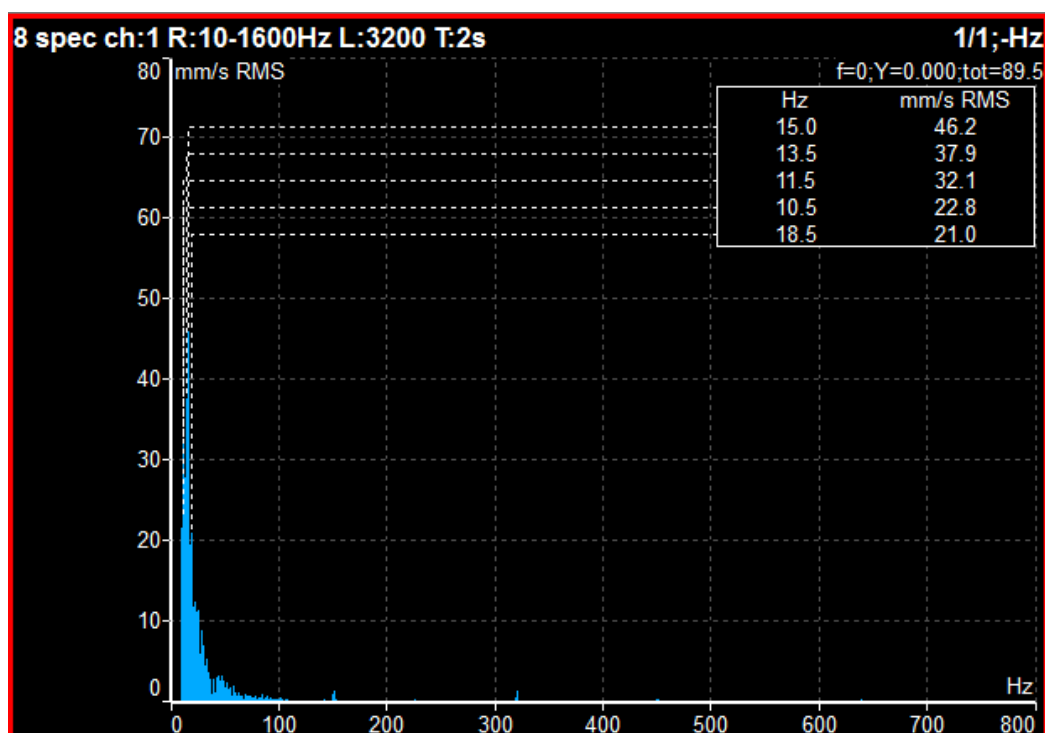


Obr. 8.3.1.20 spektrum v axiálním směru při tlaku 4.0 bar

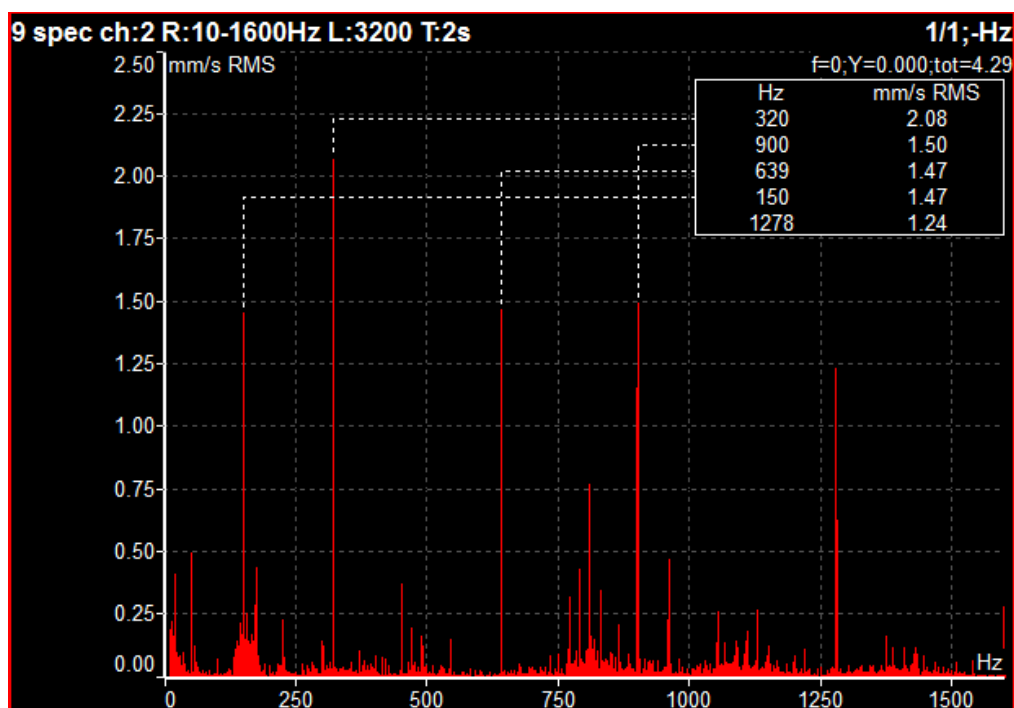
8.3.2 Hodnoty spekter na druhém stupni stlačování



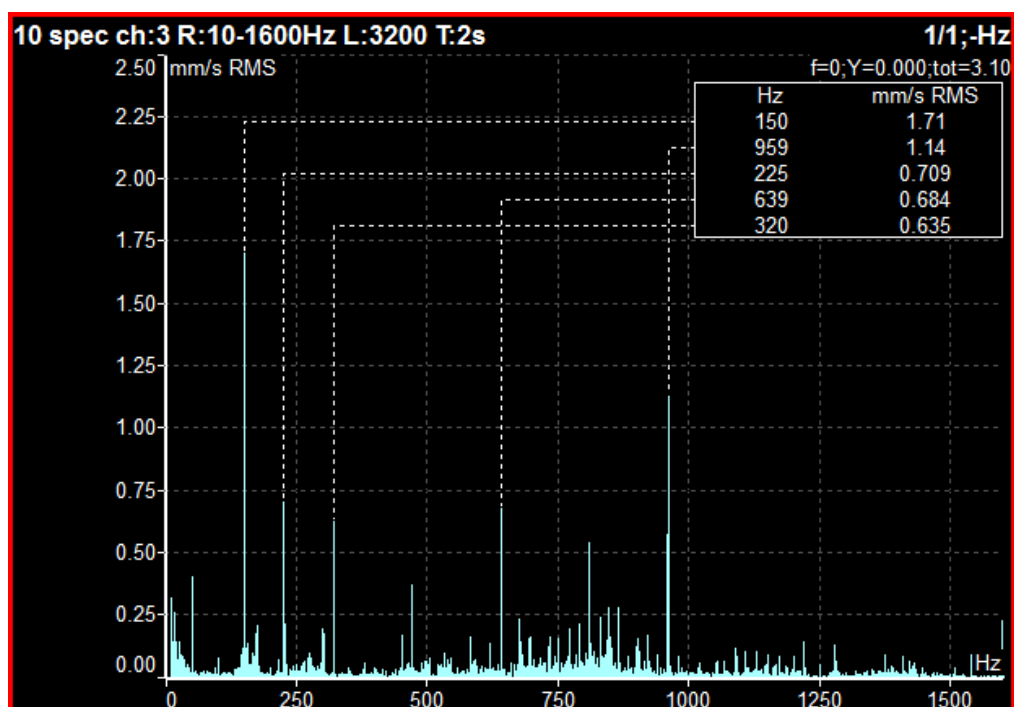
Obr. 8.3.2.1 hodnoty vibrací pro normu ISO 10816 při tlaku 7.5 bar



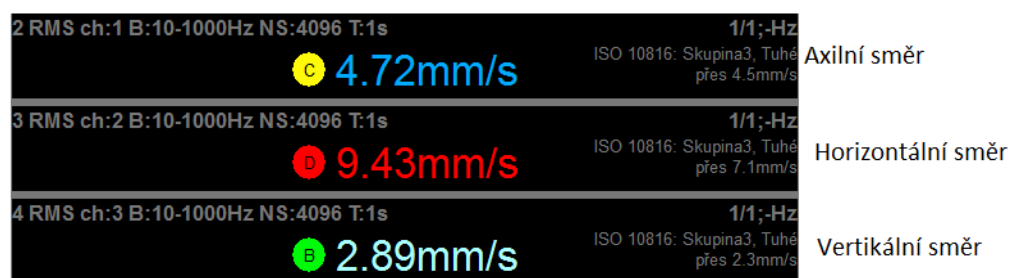
Obr. 8.3.2.2 spektrum v axiálním směru při tlaku 7.5 bar



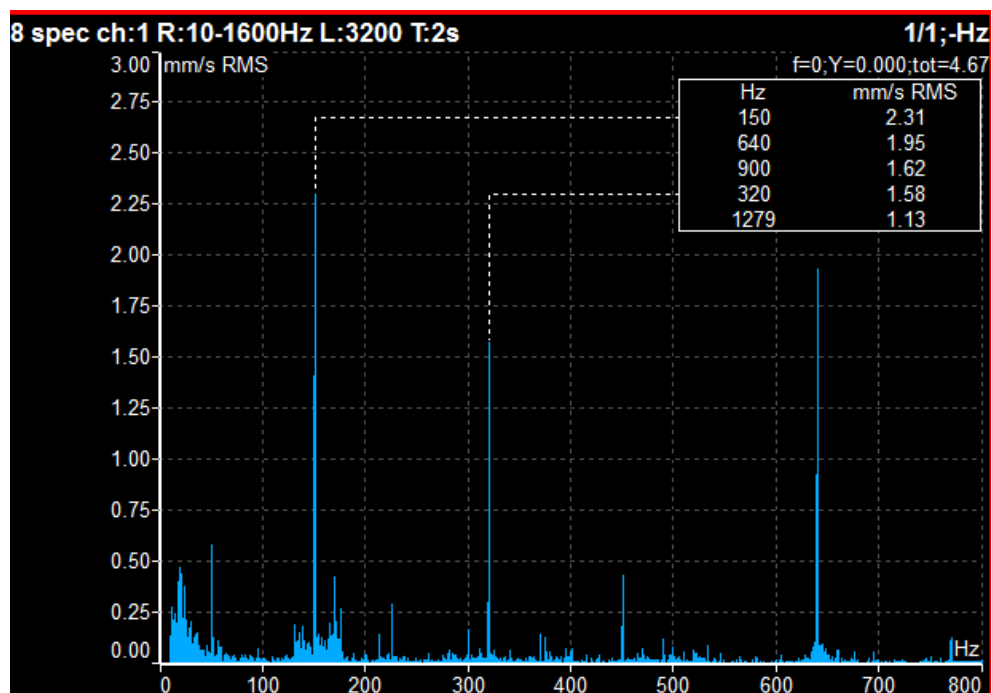
Obr. 8.3.2.3 spektrum v horizontálním směru při tlaku 7.5 bar



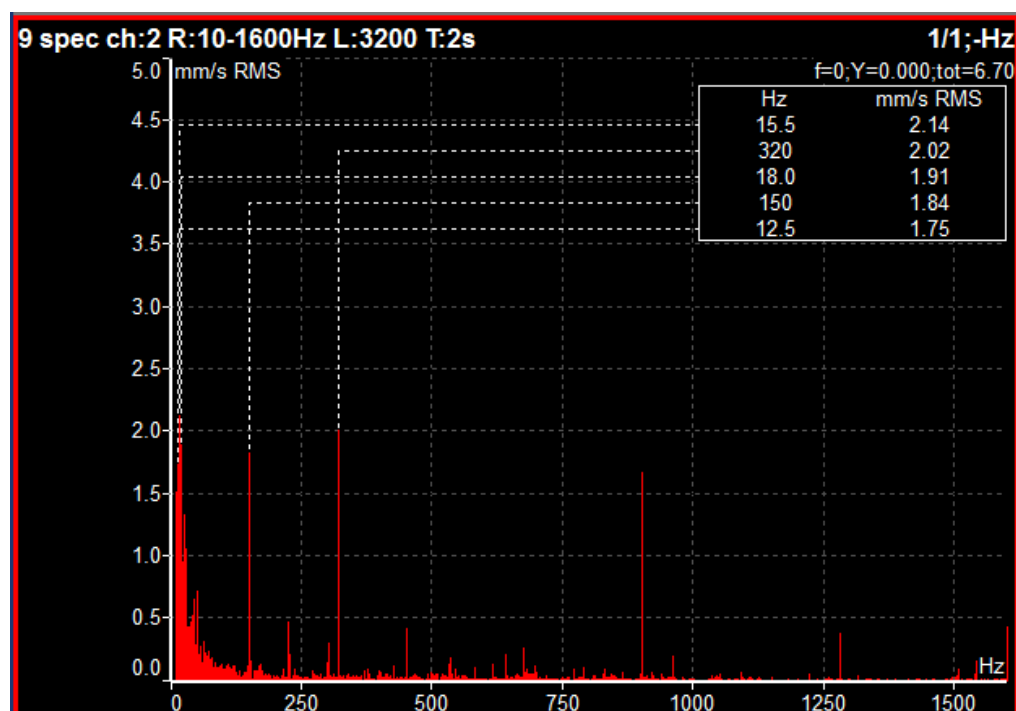
Obr. 8.3.2.4 spektrum ve vertikálním směru při tlaku 7.5 bar



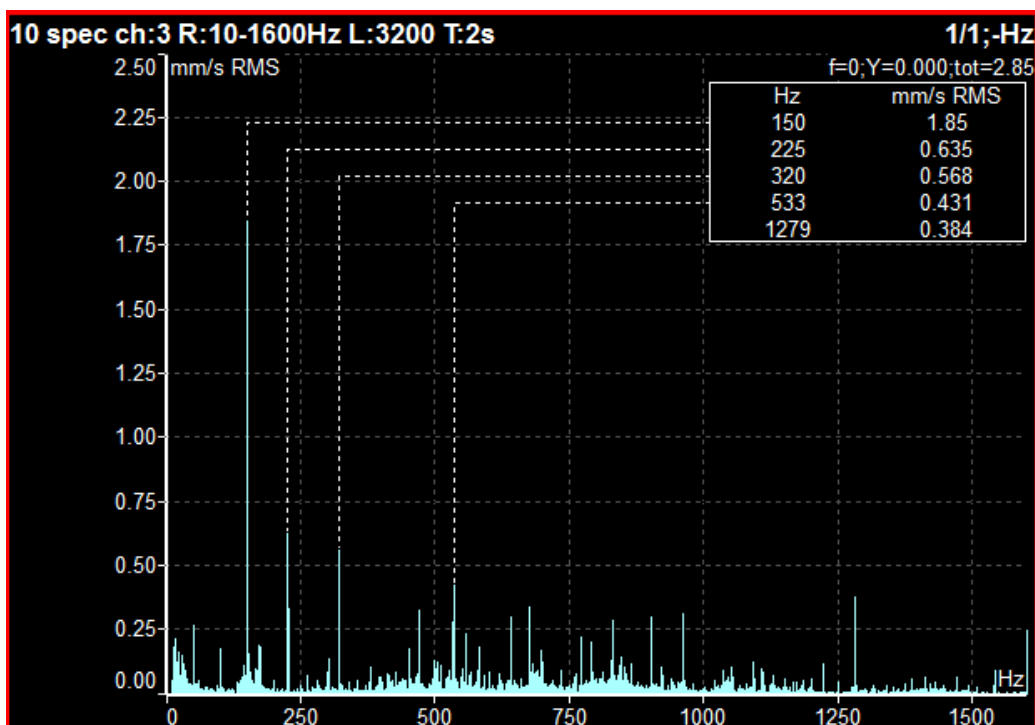
Obr. 8.3.2.5 hodnoty vibrací pro normu ISO 10816 při tlaku 6.5 baru



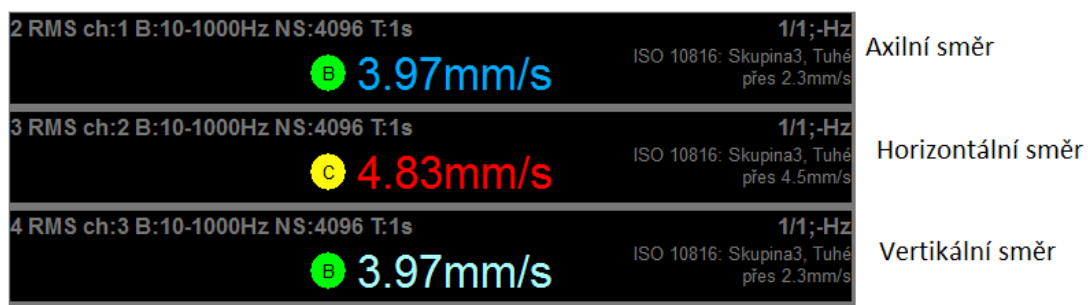
Obr. 8.3.2.6 spektrum v axiálním směru při tlaku 6.5 bar



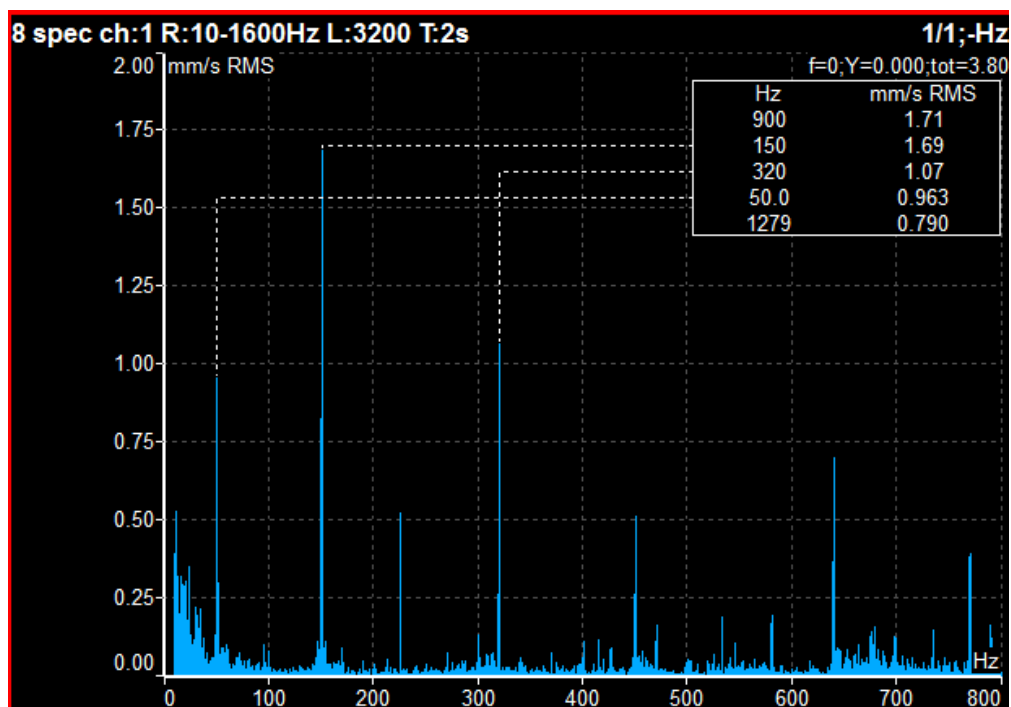
Obr. 8.3.2.7 spektrum v horizontálním směru při tlaku 6.5 bar



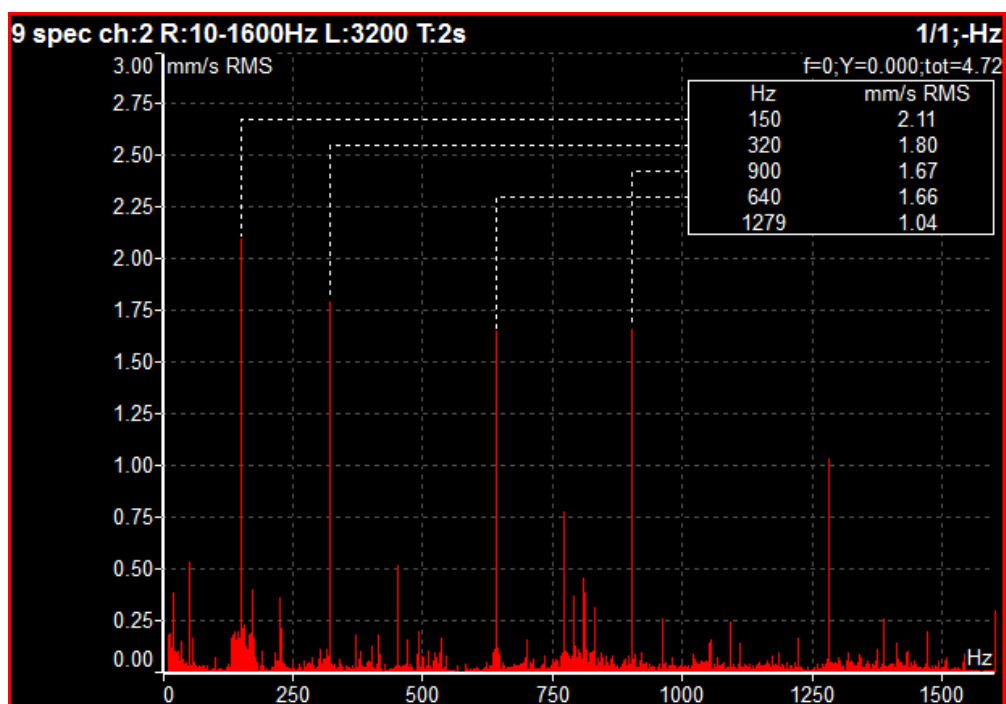
Obr. 8.3.2.8 spektrum ve vertikálním směru při tlaku 6.5 bar



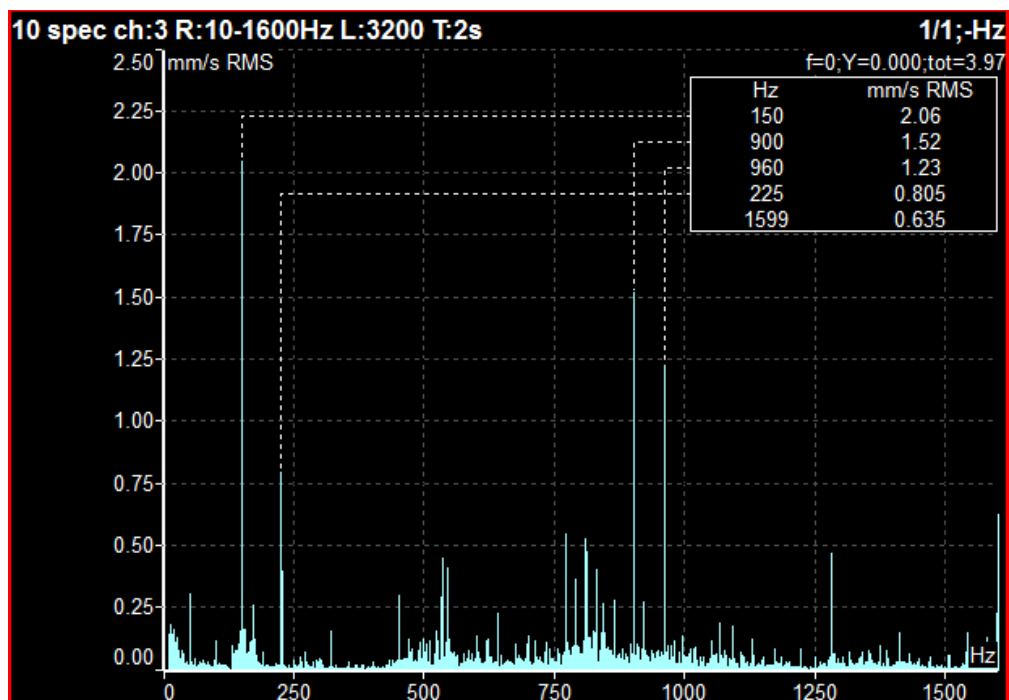
Obr. 8.3.2.9 Hodnoty vibrací pro normu ISO10816 při tlaku 5.5 baru



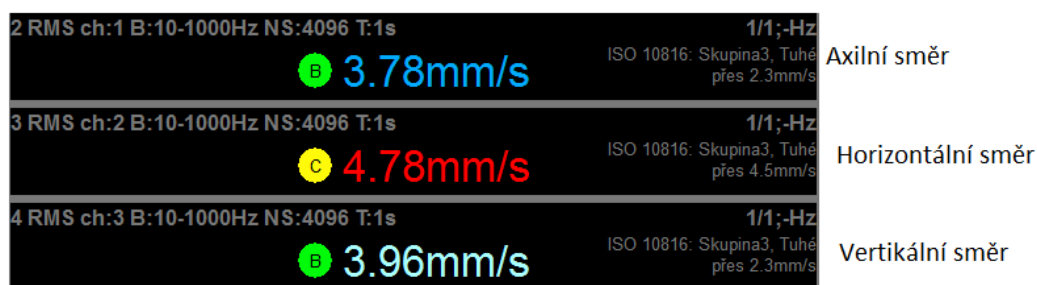
Obr. 8.3.2.10 spektrum v axiálním směru při tlaku 5.5 bar



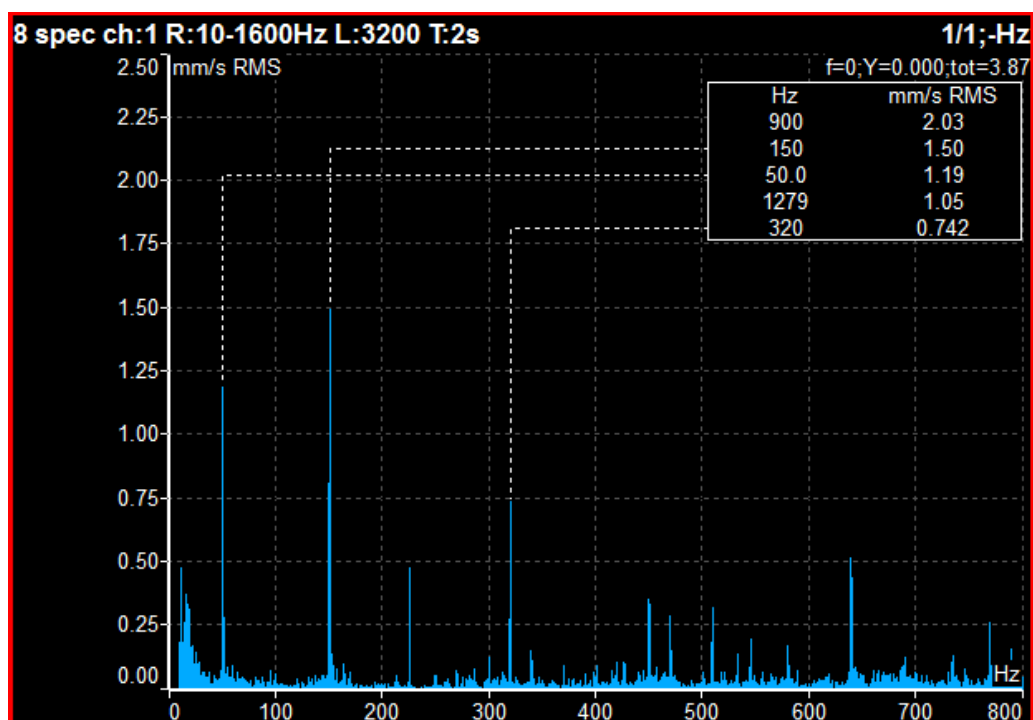
Obr. 8.3.2.11 spektrum v horizontálním směru při tlaku 5.5 bar



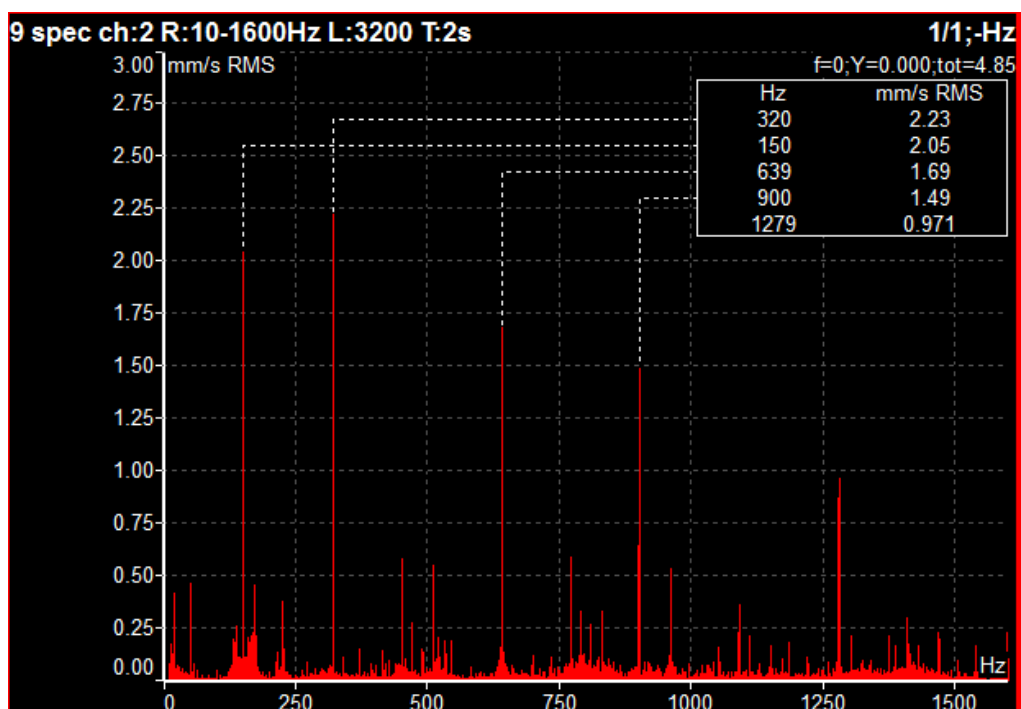
Obr. 8.3.2.12 spektrum ve vertikálním směru při tlaku 5.5 bar



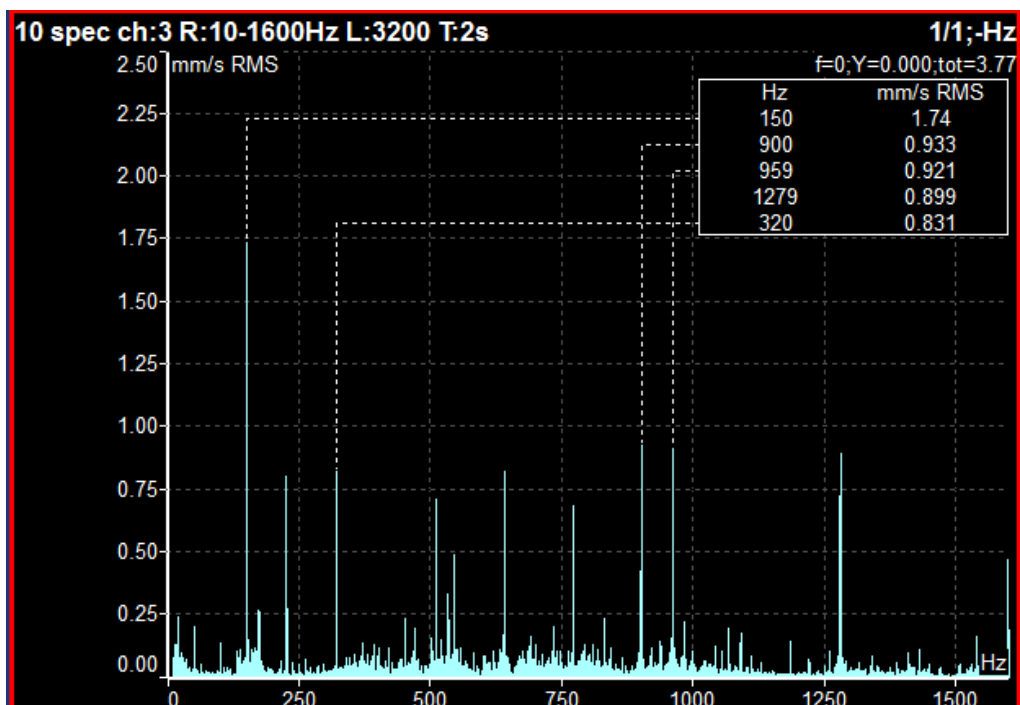
Obr. 8.3.2.13 hodnoty vibrací pro normu ISO 10816 při tlaku 4.5 bar



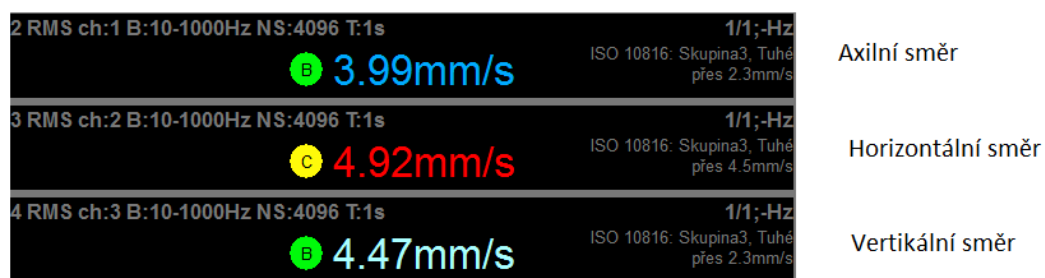
Obr. 8.3.2.14 spektrum v axiálním směru při tlaku 4.5 bar



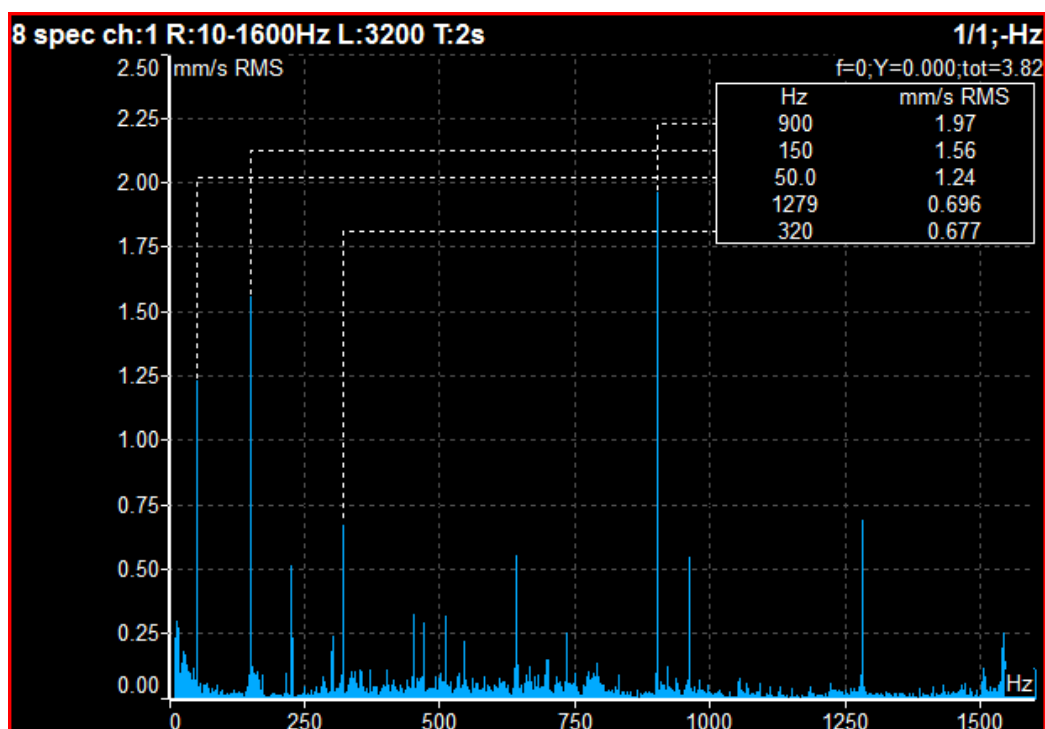
Obr. 8.3.2.15 spektrum v horizontálním směru při tlaku 4.5 bar



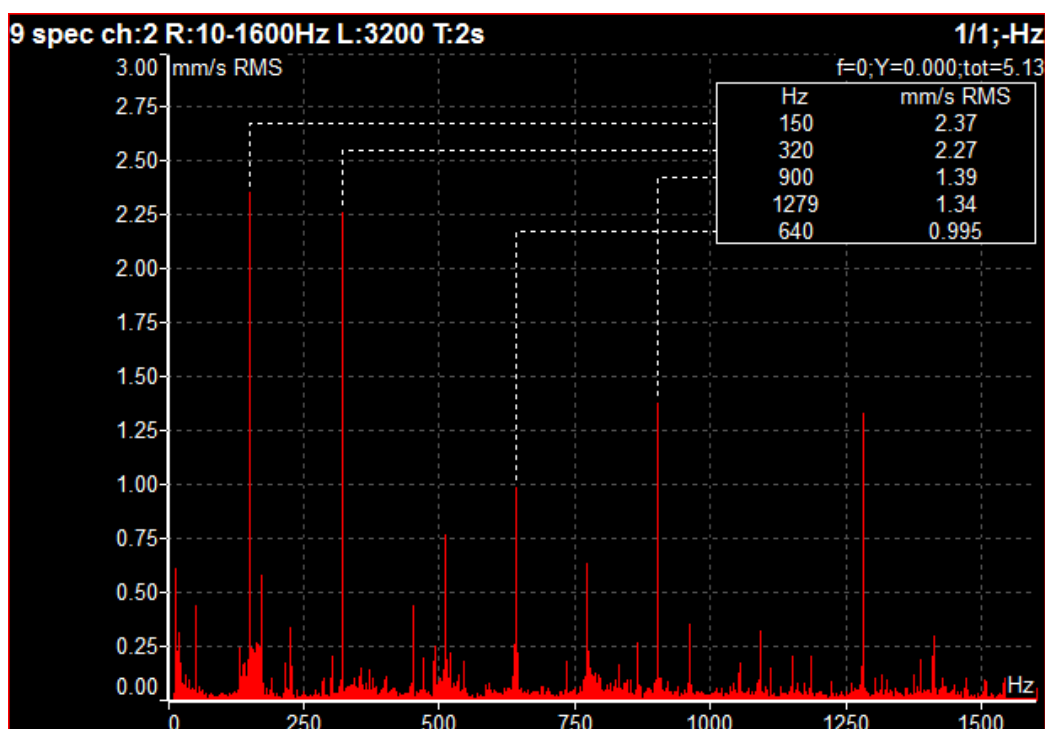
Obr. 8.3.2.16 spektrum ve vertikálním směru při tlaku 4.5 bar



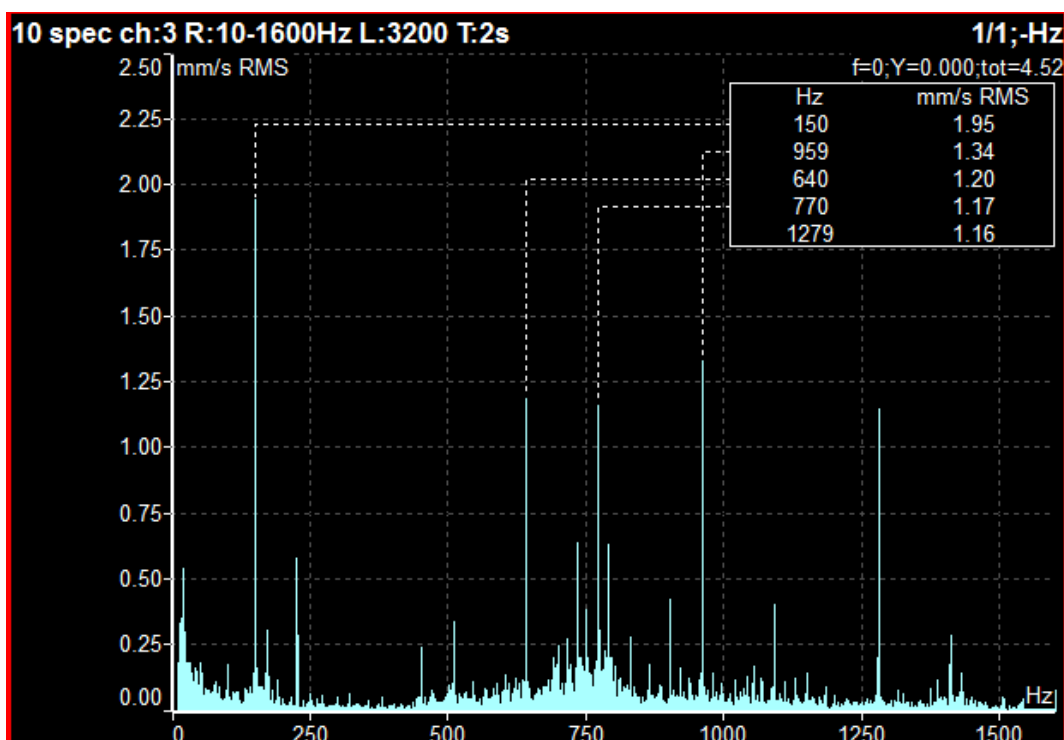
Obr. 8.3.2.17 hodnoty vibrací pro normu ISO 10816 při 4 barech



Obr. 8.3.2.18 spektrum v axiálním směru při tlaku 4.0 bar



Obr. 8.3.2.19 spektrum v horizontálním směru při tlaku 4.0 bar



Obr. 8.3.2.20 spektrum ve vertikálním směru při tlaku 4.0 bar

9. Vyhodnocení a porovnání naměřených dat

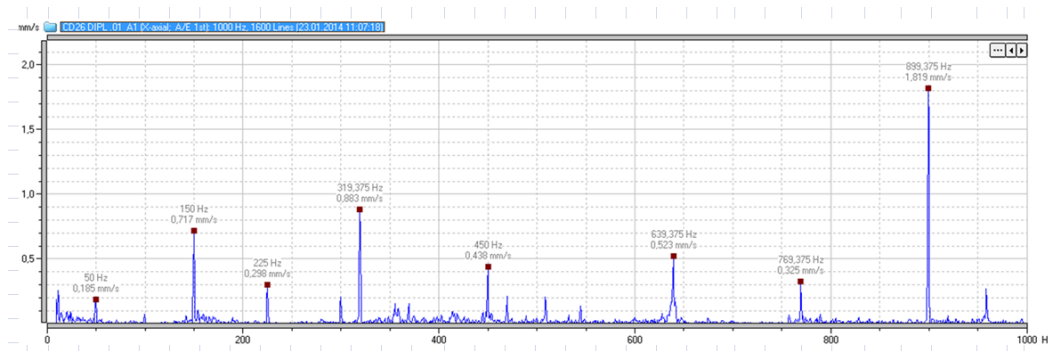
Na měřené hodnoty firemním přístrojem Leonova od SPM se téměř shodují s naměřenými hodnotami přístrojem Va4Pro Adash. Musíme počítat i s tím, že každý snímač může mít jinou citlivost a také na nastavení zvolených parametru a rozsahu snímaných dat. Lze také počítat i s chybou měření.

9.1 Vyhodnocení dat

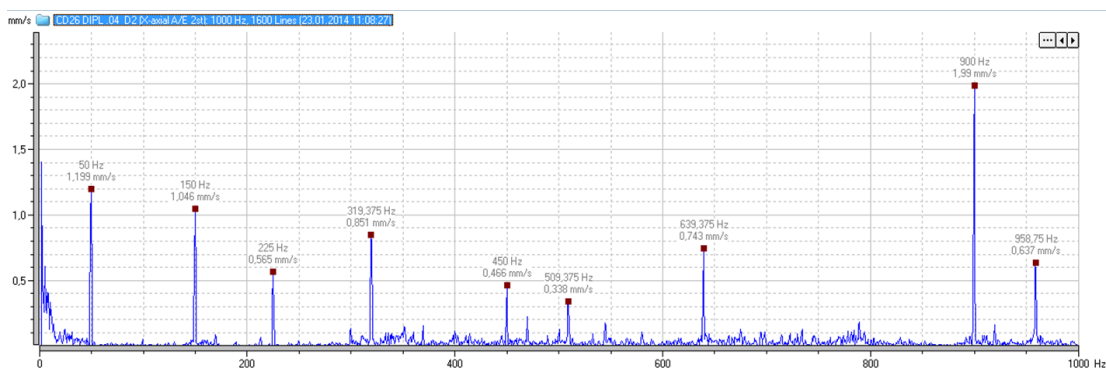
S naměřených hodnot na prvním stupni je zřejmé že, při 50 Hz se projevuje síťová frekvence el.motoru tato frekvence se projevuje i při 150 Hz jako třetí harmonická. Dále jsme zaznamenali vibrace při 225 Hz MALE na rotoru prvního stupně ta se dále projevuje jako druhá harmonická na 450 Hz při 319 Hz se nám přenáší vibrace z druhého stupně stlačování a to z MALE rotoru, který se také projevuje na 639 HZ jako druhá harmonická. Na závěr se nám při 899 až 900 Hz znázorní závity FEMALE prvního stupně. Tyto hodnoty, které se měřily, se projevují na prvním a druhém stupni v různých osách úplně stejně, ale s jinou rychlostí popř. malou odchylkou frekvence, která je ovlivněna změnou zátěže kompresoru (stlačení vzduchu na stanovenou hodnotu), místa umístění snímačů a také vlivem zpracování naměřených dat v jiném zařízení pro snímání hodnot. Dále jsem při měření zaznamenal chybu a to na druhém stupni stlačování na axiálním směru při 7.5 bar viz obr. 9.2.4 Tato chyba mohla vzniknout v důsledku špatného usazení snímače.

9.2 Porovnání naměřených hodnot

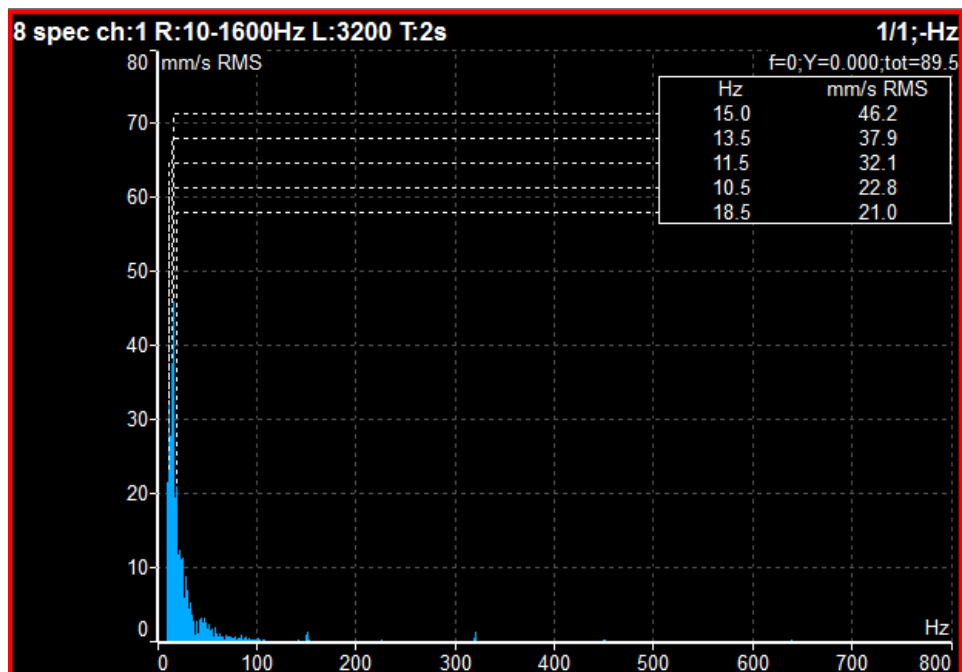
Jak lze vidět z firemního softwaru pro znázornění spekter se hodnoty překrývají tudíž jsou si téměř podobné a to samé nacházíme i ve spektrech zpracované v softwaru A4410 Virtual Unit. Navíc u softwaru od firmy Adash můžeme také vidět hodnoty splňující normu ISO 10 816, která hodnotí, zda jsou vibrace vyhovující či nevyhovující.



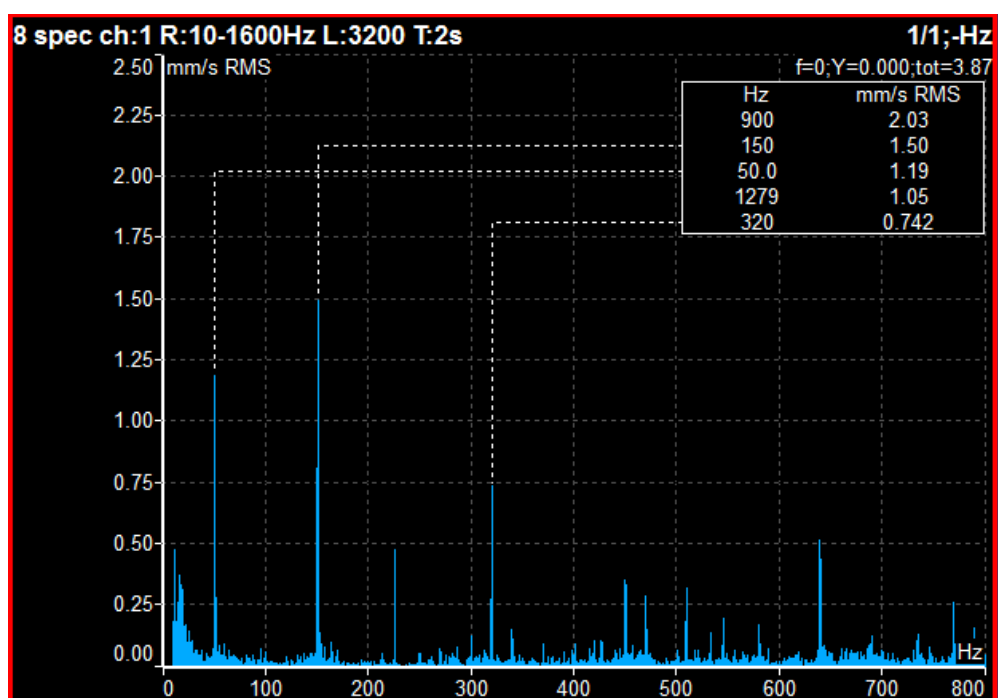
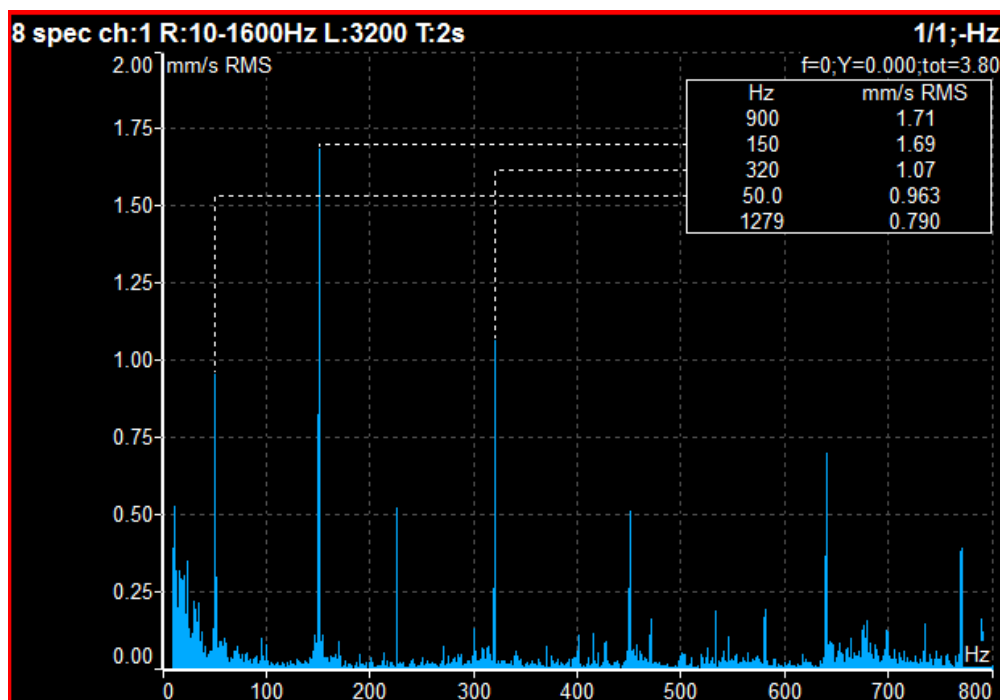
Obr. 9.2.1 Spektrum v axiálním směru prvního stupně stlačování



Obr. 9.2.3 Spektrum v axiálním směru druhého stupně stlačování



Obr. 9.2.4 Chyba měření v axiálním směru na prvním stupni



Obr. 9.2.5 Porovnání spekter v axiálním směru při tlaku 5.5(horní) a 4.5(dolní) bar

10. Závěr

Měření, které jsem prováděl na nově zavedeném šroubovém kompresoru do výroby, které proběhlo v Uničově ve firmě Ingersoll Rand, bylo vzhledem provedení a složitosti daného kompresoru velmi poučné. Hlavní důraz se klade na přesnosti výroby jednotlivých součástí tak, aby splňovali normy vibrací kompletního kompresoru a danou životnost stanovenou firmou. Jedná se totiž o stroj s rotujícími součástkami, kde se musí dbát na vibrace jako celku celého stroje, každá součást (ložisko, ozubení, nevyváženost, síťové napětí motoru atd.) se projeví ve spektru. Z měření vyplynulo, že naměřené hodnoty se dále dají zpracovat. Když jsme měřili firemním zařízením Leonova od SPM a následně zpracovali a převedli data do jednotlivých spekter firemním softwarem tak jsme zjistily, že se změnou zátěže hodnoty naměřených dat se vůbec nezměnily, dokonce vypadali skoro stejně. Z toho plyne, že kompresor je dobře konstrukčně navržen a splňuje požadavky firmy. Z více kanálového měřicího přístroje Adash A4400 Va4Pro jsme mohly data změřit ve stanovené zátěži na daném stupni ve všech směrech zároveň (axiál, horizontál, vertikál) a data se dala zpracovat a upravit na danou měřicí hodnotu (zrychlení, rychlost, výchylku). Na rozdíl od firemního zařízení, které měřilo pouze jedním snímačem, takže měření bylo z dlouhové, protože se musel snímač umísťovat na jednotlivá místa postupně při stejné stanovené zátěži kompresoru. Z měření bylo také zřejmé, že došlo k chybě měření. Na druhém stupni stlačování a to při zatížení 7.5 bar v axiálním směru. Chybné měření může být způsobeno buď vadným snímačem špatným propojovacím kabelem, nebo lidskou chybou při obsluze daného přístroje měření či špatnou chybou umístěním snímače. Cele toto měření sloužilo k porozumění a seznámení se s danou, problematikou daného kompresoru na vibrace jednotlivých součástí stroje v pracovním provozu. Ať už k složitosti, tak jeho využití na světovém trhu sloužil tak, aby splňoval přání zákazníku po stránce spolehlivosti a výkonu.

Použitá literatura:

- [1] HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: Technická Diagnostika a spolehlivost II
Vibrodiagnostika. VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. Vydání s., ISBN 80-248-0650-9.
- [2] Podkladové materiály firmy Ingersoll Rand
- [3] Jaroslav Kaminský-Kamil Kolarčík. KOMPRESORY VŠB – TU Ostrava
- [4] podkladové materiály Adash s.r.o.
- [5] podkladové materiály SPM